

中華環安衛科技協會

Chinese Environmental, Safety and Health Association



會刊

57
2025.June



☆ 理事長的話

☆ 專題報導

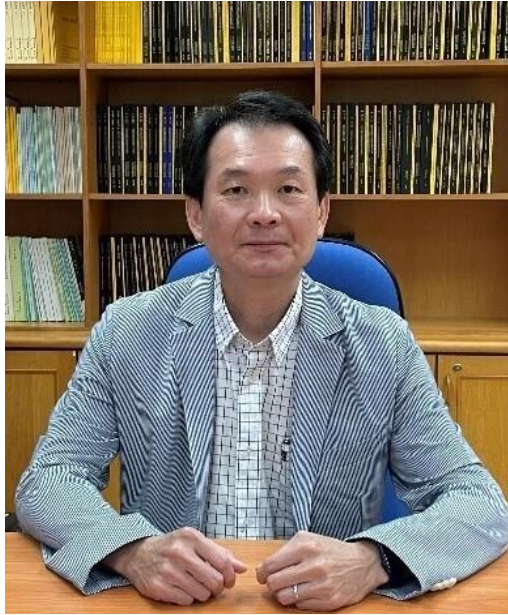
1. 應用氬氣氣提技術循環回收電鍍廢水使用之氯化銨原料
2. 科技新視野：超微氣泡清洗技術於油品污染土壤整治的創新契機
3. 基於基因演算法與距離匹配之地下管線腐蝕缺陷檢測資料分析
4. 探討風險基準檢查後果分析保守性對石化廠安全關鍵設備風險管理之影響
5. 小孩肚子不舒服？從溢奶到便秘的兒童消化指南
6. 中年大叔注意！想跟攝護腺肥大說掰掰？這些生活習慣是關鍵！

☆ 會務動態

中華環安衛科技協會 會議紀錄



理事長的話



吳忠信 | 國立高雄科技大學 副校長

各位先進、各位長官：

「中華環安衛科技協會」秉持為公眾服務的精神，致力於提供環保、安全、衛生技術與健康管理等資訊與經驗之交流。本期會刊收錄六篇優秀文章，涵蓋環境、安全和健康三個議題，其中環境類為〈應用氬氮氣提技術循環回收電鍍廢水使用之氯化銨原料〉和〈科技新視野：超微氣泡清洗技術於油品污染土壤整治的創新契機〉；安全類為〈基於基因演算法與距離匹配之地下管線腐蝕缺陷檢測資料分析〉和〈風險基準檢查中後果分析保守性對安全關鍵設備風險管理的衝擊〉；以及健康類〈小孩肚子不舒服？從溢奶到便秘的兒童消化指南〉和〈中年大叔注意！想跟攝護腺肥大說掰掰？這些生活習慣是關鍵！〉。文章內容多元且深具實務和生活價值，提供讀者對於環境保護、安全管理及健康促進等領域的創新知識。我們期望透過會刊的發表能拋磚引玉、幫助讀者獲得環安衛科技上的重要進展和嶄新視野。

值此仲夏時節，再一次感謝各位先進及長官對本協會的支持與鼓勵，祝福大家平安健康。

Contents 目錄

■ 理事長的話 吳忠信	I
■ 專題報導	
1. 應用氮氣提技術循環回收電鍍廢水使用之氯化銨原料	1
2. 科技新視野：超微氣泡清洗技術於油品汙染土壤整治的創新契機	10
3. 基於基因演算法與距離匹配之地下管線腐蝕缺陷檢測資料分析	22
4. 探討風險基準檢查後果分析保守性對石化廠安全關鍵設備風險管理 之影響	47
5. 小孩肚子不舒服？從溢奶到便秘的兒童消化指南	62
6. 中年大叔注意！想跟攝護腺肥大說掰掰？這些生活習慣是關鍵！	69
■ 會務動態	
中華環安衛科技協會	
第十四屆第五次理監事聯席會－會議紀錄	76
第十五屆第一次會員大會－會議紀錄	79
第十五屆第一次理監事聯席會－會議紀錄	81

會刊編輯委員會

主任委員 吳忠信	會 址 高雄市前鎮區一心一路 243 號 4 樓之 1
總 編 輯 潘俊仁	聯 絡 處 高雄市三民區建工路 415 號
編 輯 黃嫻薰	電 話 07-3814526 轉 12205

應用氨氮氣提技術循環回收電鍍廢水使用之氯化銨原料 Circulating/Recycling of Ammonium Chloride Material Using an Ammonium Nitrogen Stripping Technology from the Electroplating Wastewater

賴進興，輔英科技大學/環境工程與科學系 特聘教授
葉淑杏，輔英科技大學/休閒與遊憩事業管理系 助理教授
蔡閔鈞，輔英科技大學/環境工程與科學系 碩士
陳文蕙，輔英科技大學/環境工程與科學系 碩士
楊書瑋，輔英科技大學/環境工程與科學系 碩士
陳映炆，輔英科技大學/環境工程與科學系 碩士
聯絡作者: PL011@fy.edu.tw

摘要

本技術發展是使用電鍍廠含高濃度的氨氮廢水，應用氨氮氣提技術將廢水中的氨氮去除及產生氨氣，再將氨氣與鹽酸結合形成氯化銨溶液，並持續循環回收以製成電鍍廠所需要的高純度氯化銨原料。根據實廠電鍍廢水試驗證實：氨氮氣提技術具備有效處理含高濃度氨氮之功能，在不同曝氣量大小條件下，對電鍍廢水氨氮氣提效率具有顯著影響；而電鍍廢水中之氨氮經過氣提、鹽酸溶液循環回收、真空乾燥的氯化銨結晶固體，經過 XRD 分析結果顯示是屬於結晶性佳的氯化銨固體，純度高達 99.51% 以上，循環回收的氯化銨固體可以作為電鍍原料再使用，符合循環經濟之效益。研發成功的電鍍廢水氨氮氣提、循環回收產製氯化銨之技術，已成功推廣與應用於平和環保公司產製電鍍廢水使用之氯化銨原料。

【關鍵字】 氨氮、氣提、電鍍廢水、氯化銨、循環經濟

一、前言

電鍍製程是許多金屬加工產品不可缺少的製造程序，而電鍍製程中為了提高電鍍溶液的導電性，使電鍍產品表層能夠更加光滑，會以添加氯化銨（ NH_4Cl ）來提升電鍍效果，但在電鍍過程產生的廢電鍍溶液及清洗廢水中都會含有高濃度的氨氮汙染物。

水體環境中氨氮濃度若超過標準，對水體生物會產生危害，甚至導致水體優養化及水中生物死亡。我國環境部已於 2021 年對既設金屬表面處理業及電鍍業的放流水氨氮濃度限值調降為 150 mg/L，2027 年將再下修至 60 mg/L，且對於新設工廠的放流水氨氮濃度限值為更嚴格的 20 mg/L（環境部，2024）。因此，對於產生含高濃度氨氮廢水的事業單位，已造成廢水處理廠的重大壓力（吳柏璋等人，2021）。

現今廢水中去除氨氮的方法可分為處理高濃度及低濃度的廢水，高濃度廢水可使用化學沉澱或氣提處理方法（Lodhi and La, 2017; Yuan et al., 2016a, 2016b; Zangeneh, 2021），低濃度廢水可用離子交換、薄膜或生物處理方法（Lubensky et al., 2019; Wang et al., 2022）。另外，應用氨氮氣提技術（Ammonium nitrogen stripping technology, ANST）亦可從氨氮廢水中回收再利用有價值的化學物質，不僅協助電鍍工廠解決廢水氨氮濃度超過標準的問題，並回收再利用的化學物質可以作為原料使用，達到循環回收與再利用的目標（Lai et al., 2019; 賴進興、葉淑杏，2019；賴進興、蔡閔鈞，2021；賴進興等人，2022）。

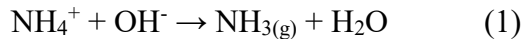
本研發技術使用電鍍廠實際產生含高濃度的氨氮廢水，應用氨氮氣提技術將廢水中的氨氮去除及產生氨氣，再利用鹽酸（ HCl ）溶液淋洗氨氣，將氨氣與鹽酸結合形成氯化銨，並持續循環回收，才能累積成高濃度的氯化銨溶液。技術發展包含在不同的操作條件下，廢水中氨氮的去除效率，最後顯示循環回收氯化銨結晶固體成品的純度與物種成分（賴進興等人，2020；賴進興、葉淑杏，2021；賴進興等人，2022）。

二、研發理念與技術開發方法

2.1 研發理念

技術研發係設計氨氮廢水循環回收氯化銨之系統，試驗設備包含氨氮廢水調理、淋洗及氯化銨濃縮處理單元。

1. **廢水調理**：使用液鹼與氨氮廢水產生鹼化混合液，氨氮廢水經液鹼調理產生氨氣之反應：



2. **氨氣淋洗**：調理反應生成的氨氣進入淋洗會產生液態氯化銨之化學：



3. **氯化銨濃縮**：淋洗產生液態氯化銨，循環導入氯化銨濃縮，並以鹽酸控制溶液之 pH 值，藉以提升液態氯化銨達到目標濃度。

2.2 研發設備

ANST 研發試驗之設計與設備如圖 1 所示。實驗設備單元包含氣提單元 (A)、循環回收單元(B)、淋洗單元(C)。此外，實驗設備在氣提單元內設置曝氣裝置(D)，及淋洗單元內設置淋洗裝置(E)。

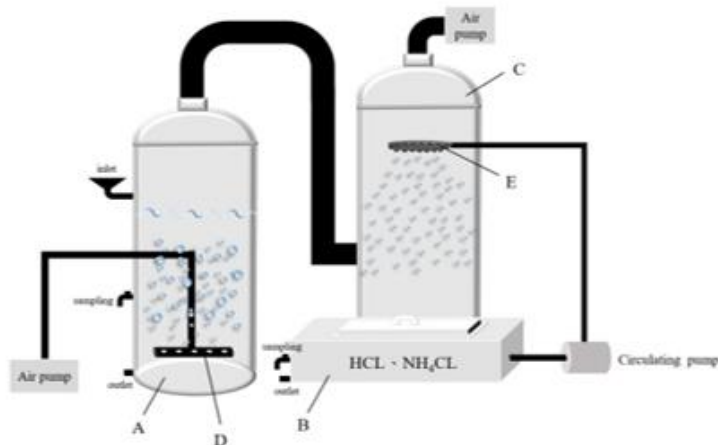


圖 1、實驗設計與設備 (A：氣提單元；B：循環回收單元；C：淋洗單元；D：曝氣裝置；E：淋洗裝置)

2.3 技術研發方法

ANST 研發試驗使用的原水為電鍍廠實際產生含高濃度的氨氮廢水，實廠取得的電鍍廢水氨氮濃度是介於 14,087~14,462 mg/L 及之間。試驗時氣提單元的氨氮廢水會加入 NaOH，以調整廢水的 pH 值至 10.5~12.0，廢水中的氨氮會反應生成氨氣，而氨氣會藉由曝氣裝置的作用，由廢水中分離出來。

氣提單元分離出來的氨氣會經由管渠流入淋洗單元，淋洗單元內是以 pH 值為 2.5~3.0 的鹽酸溶液淋洗，鹽酸溶液與氨氣反應，生成氯化銨溶液。

在淋洗單元生成的氯化銨溶液，再流入循環回收單元，而鹽酸溶液與氯化銨溶液會在循環回收單元產生混合液，混合液再流至淋洗單元，經往復循環，最後在循環回收單元內累積成高濃度的氯化銨溶液，高濃度氯化銨溶液再經真空乾燥會生成氯化銨結晶固體原料。

2.4 水樣與產品分析方法

廢水中氨氮濃度是依據環境部公告的標準方法(NIEA W448.51B)來分析，而氯化銨結晶固體的形態是應用 X-ray diffraction (XRD) 將乾燥結晶測定其型態，以及利用 Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES) 及 X-ray fluorescence (XRF) 來分析結晶固體的純度。

三、技術研發成果

3.1 ANST 氨氮廢水氣提效率試驗

本項試驗是為探討曝氣量對氨氮廢水氣提效率之影響，以確認 ANST 處理含高濃度氨氮電鍍廢水之能力。ANST 氣提試驗之氨氮廢水在不同曝氣量的氣提條件下，氨氮濃度隨時間之變化結果，如圖 2 所示。圖中結果顯示：24, 48 及 105 L/min 三種曝氣量條件下，氨氮原始濃度分別為 14,275, 14,087 及 14,462 mg/L，經過氣提 8 小時後，24 及 48 L/min 兩曝氣量條件下，氨氮濃度分別降到 4,539 及 4,727 mg/L；而 105 L/min 曝氣量條件下，氨氮濃度則下降較多，為 3,135 mg/L；經過氣提 40 小時，三種曝氣量條件下，氨氮濃度分別下降至 458, 496 及 439 mg/L；經過氣提 72 小時，氨氮濃度分別已降為 119、

105 及 95 mg/L，可見增加氣提時間，可以將氨氮濃度降的更低。

根據實驗結果顯示，曝氣量大小對氨氮氣提效率是有影響的，但是必須使曝氣量增加至一定量以上，才能提高氣提速率；此外，增加氣提時間，可以提升氨氮的去除效率。本 ANST 氨氮廢水氣提效率試驗結果，已證實 ANST 具備有效處理含高濃度氨氮之功能。

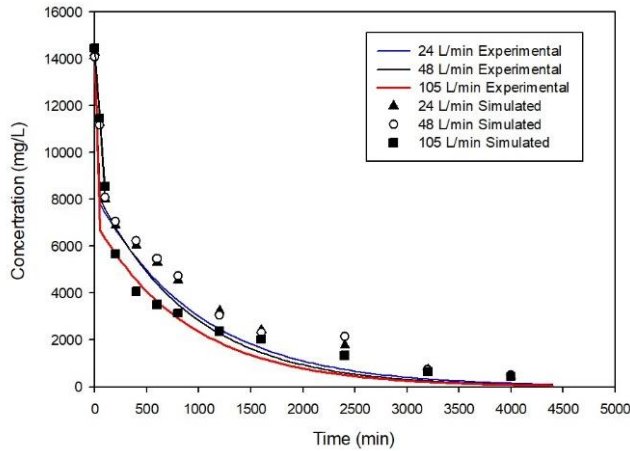


圖 2、ANST 試驗不同曝氣量的氣提條件下，氨氮濃度隨時間之變化

3.2 ANST 試驗數據回歸分析之應用

本研究將不同曝氣量條件下的 ANST 試驗數據結果，以一階反應方程式來回歸分析，方程式如下列：

$$R = -\frac{dC}{dt} = kC \quad (3)$$

$$C = C_0 \cdot \exp^{-(kt+k')} \quad (4)$$

其中 R 為：反應速率 (min-1mg/L)；k 為：反應速率常數 (min-1)；C 及 C0 為：濃度 (mg/L)；t 為：時間 (min)；k' 為：常數。

實驗數據經過回歸分析，ANST 試驗在不同曝氣量條件下，回歸分析速率常數及相關係數之結果，如表 1 所列。表中顯示在三種曝氣量條件下，k 值分別為 0.0010、0.0011 及 0.0011 min-1，而相關係數 R2 分別為 0.974, 0.972 及 0.967。而在 48 及 105 L/min 兩種曝氣量之反應速率常數之 k 值均為 0.0011，大於曝氣量 24 L/min 之 k 值 0.0010。

表 1、ANST 試驗數據回歸分析之反應速率常數及相關係數

曝氣量	k	R ²
24 L/min	0.0010 min ⁻¹	0.974
48 L/min	0.0011 min ⁻¹	0.972
105 L/min	0.0011 min ⁻¹	0.967

此外，圖 2 亦顯示：實驗數據與一階反應方程式模擬結果來比較，ANST 試驗數據在 24, 48 及 106 L/min 三種曝氣量條件下，實驗數據與模擬結果屬於一致，顯示本研發技術對於含高濃度的氨氮電鍍廢水，應用氣提反應將廢水中的氨氮去除及生成氨氣，此反應作用能用一階反應來描述與模擬。

3.3 ANST 推廣與實廠應用

研發完成的 ANST 循環回收電鍍廢水氨氮產製氯化銨技術，已推廣與應用於平和環保科技股份有限公司之台南產業園區平和材料公司之廠區，應用 ANST 處理氨氮廢水之處理容量大約為 120 CMD（如圖 3 所示），ANST 設計分為數個大槽體，每個槽體容量大於 20 m³，每槽體設置數台鼓風機，鼓風機依廢水氣提時之實際需求來開啟；而循環回收固態氯化銨結晶之實景圖，如圖 4 所示，平和環保公司已應用 ANST 循環回收電鍍廢水使用之氯化銨原料。



圖 3、實廠 ANST 循環回收設備



圖 4、實廠固態氯化銨結晶設備

實廠在循環回收單元內累積成高濃度的氯化銨溶液，氯化銨溶液經真空乾燥生成氯化銨結晶固體，而氯化銨結晶固體應用 XRD、XRF 及 ICP-OES 分析氯化銨晶形態（Crystal form）及結晶固體的成份分析。圖 5 是氯化銨結晶固體

之 XRD 分析圖譜，圖中顯示在特定 2θ 角度的峰值均為氯化銨結晶，屬於結晶度優異之氯化銨晶體。

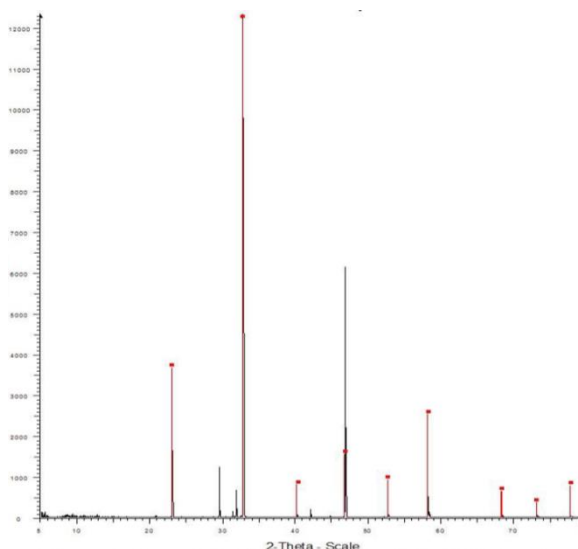


圖 5、ANST 循環回收氯化銨結晶固體之 XRD 分析圖譜

表 2 所列為 ANST 循環回收氯化銨結晶固體的成份分析結果，表中顯示電鍍廠實際產生含高濃度的氨氮廢水，經過 ANST 氣提、HCl 溶液循環回收、真空乾燥的氯化銨結晶固體，其主要成份均為氯化銨，純度高達 99.70% 及 99.51%，顯示是屬於結晶性良好且純度高之氯化銨固體原料。

表 2、ANST 循環回收氯化銨結晶固體之成份與比例

成分	樣品一(%)	樣品二(%)
SiO ₂	0.02	ND
Al ₂ O ₃	0.08	0.04
Na ₂ O	ND	0.03
MgO	ND	0.02
CaO	0.05	0.13
Fe ₂ O ₃	0.01	ND
SO ₃	0.14	0.13
P ₂ O ₅	ND	0.14
NH ₄ Cl	99.70	99.51

五、結論

1. 根據 ANST 廢水氨氮氣提效率之試驗結果證實：ANST 具備有效處理含高濃度氨氮之功能。
2. ANST 氣提試驗在不同曝氣量大小條件下，對電鍍廢水氨氮氣提效率是有顯著影響，必須使曝氣量增加至一定量以上，才能提高氣提速率。
3. 高濃度氨氮電鍍廢水應用 ANST 之氣提反應，將廢水中的氨氮去除及生成氨氣，此反應作用能用一階反應來描述與模擬。
4. 電鍍廢水中之氨氮經過 ANST 氣提、HCl 溶液循環回收、真空乾燥為氯化銨晶固體，經 XRD 分析結果顯示是屬於結晶性佳之氯化銨固體。
5. ANST 處理含高濃度氨氮的電鍍廢水，循環回收的氯化銨結晶固體，經 XRF 及 ICP 分析其純度可高達 99.51% 以上，回收再利用的結晶固體可以作為電鍍原料再使用，符合循環經濟之效益。
6. 研發完成的 ANST 循環回收廢水氨氮產製氯化銨技術，已成功推廣與應用於平和環保公司產製電鍍廢水使用之氯化銨原料。

參考文獻

- Lai, C. H., Yeh, S. H., Chen W. L. and Hsia T. N. (2019). A recycling technology and controlling equipment for ammonium chloride from the electroplating wastewater, EARTH 2019, October 13-17, Korea.
- Lodhi, R. S. and La, N. (2017). Ammonia recovery from dyes and pigment manufacturing industrial waste water in physio-chemical treatment subsequent with air stripping at high pH, International Research J. Engineering and Technology, 4, 201-214.
- Lubensky, J., Ellersdorfer, M. and Stocker, K. (2019). Ammonium recovery from model solutions and sludge liquor with a combined ion exchange and air stripping process, J. Water Process Engineering, 32, 1-11.

- Wang, J., Zhang, Z., Liu, G., Chen, G. and Chang, C. C. (2022). Treatment of wastewater containing high concentrations of ammonia nitrogen using ion exchange resins, *Asia-Pacific J. Chemical Engineering*, 17(1), e2679.
- Yuan, M. H., Chen, Y. H., Tsai, J. Y. and Chang, C. Y. (2016a). Ammonia removal from ammonia-rich wastewater by air stripping using a rotating packed bed, *Process Safety and Environmental Protection*, 102, 777-785.
- Yuan, M. H., Chen, Y. H., Tsai, J. Y. and Chang, C. Y. (2016b). Removal of ammonia from wastewater by air stripping process in laboratory and pilot scales using a rotating packed bed at ambient temperature, *J. Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 60, 488-495.
- Zangeneh, A., Sabzalipour, S., Takdatsan, A., Yengejeh, R. J. and Khafaie, M. A. (2021). Ammonia removal from municipal wastewater by air stripping process: An experimental study, *South African J. Chemical Engineering*, 36, 134-141.
- 吳柏璋、侯嘉洪、賴進興、官文惠、駱尚廉、蔡人傑、張莉珣、顏旭明 (2021)。含氮物質之新興物化處理技術評析，*工業污染防治*，第 153 期，1-21。
- 賴進興、夏梓寧、蔡閔鈞、簡祺安、陳俞如 (2020)。電鍍廢水循環回收結晶氯化銨之研究，2020 廢水處理技術研討會。
- 賴進興、陳文蕙、葉淑杏 (2022)。電鍍廢水中循環回收液態氯化銨之研究，2022 廢水處理技術研討會。
- 賴進興、楊書瑋、葉淑杏 (2022)。高氨氮電鍍廢水氣提回收固態結晶氯化銨之研究，2022 廢水處理技術研討會。
- 賴進興、葉淑杏 (2019)。開發電鍍廠廢水中氯化銨之循環回收技術與操控設備，科技部研究計畫成果報告。
- 賴進興、葉淑杏 (2021)。研發實廠高濃度氨氮廢水氣提循環回收液態氯化銨與固相結晶技術，科技部研究計畫成果報告。
- 賴進興、蔡閔鈞 (2021)。以氣提技術處理電鍍廢水中高濃度之氨氮，2021 廢水處理技術研討會。
- 環境部 (2024)。113 年放流水標準，取自 <https://law.moj.gov.tw/>

科技新視野：超微氣泡清洗技術於油品污染土壤整治的創新契機

The Innovative Potential of Ultrafine Bubble Washing Technology for Petroleum-Contaminated Soil Remediation

陳勝一，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系 教授

摘要

在全球環境日益惡化與資源緊縮的背景下，土壤污染整治技術的創新與應用日益受到重視。特別是在台灣這類土地資源稀缺、工業活動密集的地區，石油產品洩漏導致的土壤污染問題屢見不鮮。傳統整治技術如熱脫附、土地耕作法與化學處理法，雖有一定成效，卻常面臨成本高、時間長或造成二次污染等難題。面對這些挑戰，一項結合物理清洗與化學反應優勢的前瞻技術-超微氣泡清洗法，正逐步展現其嶄新潛力。本文將聚焦於近期於台灣南部某污染場址實地測試的「超微氣泡清洗技術」，深入探討其原理、應用成果及推廣潛能，並結合國內外研究趨勢，評析其在未來土壤污染整治領域的技術與商業發展前景。

【關鍵字】 柴油、土壤、超微氣泡、清洗技術、現地模場、綠色科技

一、環境挑戰與技術契機

台灣地區地狹人稠，土地取得不易，卻面臨頻繁的石化產品洩漏、非法廢棄及儲槽老舊等問題所造成的土壤與地下水污染。根據環境部統計，目前公告油品污染場址達 270 處以上，其中不乏長期未能徹底整治的「老舊重災區」。土壤一旦遭受油品滲入，其高黏滯性與疏水性物質會緊密附著於土壤顆粒上，傳統的整治方法例如，土壤清洗法 (soil washing)、熱脫附法 (thermal desorption)、空氣注入法 (air sparging)、化學氧化法 (chemical oxidation)、土地耕作法 (landfarming) 與現地處理法 (in situ remediation) 等 (Abdel-Moghny, et al., 2012; Wang et al., 2013; Sutton et al., 2014; Lee et al., 2016; Li et al., 2016; Brown et al., 2017)，面臨著高成本、低效率、反應時間長及可能造成二次污染的窘境。這些現實困境促使學界與產業界投入新穎整治技術的開發。尤以「超微氣泡洗淨技術」為代表的新型物理-化學整治方式，因其具備綠色環保、反應快速、去汙效率高等特性，逐漸受到重視。它不僅具備跨領域整合潛力，更有望替台灣龐大的污染土壤整治市場注入新動能。

二、什麼是超微氣泡？

根據 ISO 20480-7 的定義，超微氣泡 (Ultrafine Bubbles, UFBs) 是指直徑小於 1 微米的氣泡。UFBs 具備在水中穩定漂浮、緩慢釋放氣體、爆裂時可產生震波與氫氧自由基等特性。這些性質使其可被廣泛應用於清洗、殺菌、污染物去除等環境與工業處理程序 (Agarwal et al., 2011, 2016)。超微氣泡因為具有特別之物化特性，例如，尺寸小 (肉眼無法觀察)、比表面積大、在水中穩定且停留時間長、減少摩擦、可增加水中氣體溶解度，以及表面帶電等特性 (Wang et al., 2019)，因此近十年來成為新興之研究主題。根據圖 1 所示，大氣泡 (>100 μm) 在水中通常會快速上升、停留時間短、質傳效率差，並在水面發生爆裂；相較於大氣泡，微氣泡上升速度慢、水中停留時間久、質傳效率佳，同時於水面下產生爆裂作用；然而超微氣泡於水中上升速度則更慢、停留時間更久，質傳效率更高，因此可以產生更多之氣泡爆裂作用 (Azevedo et al., 2019)。

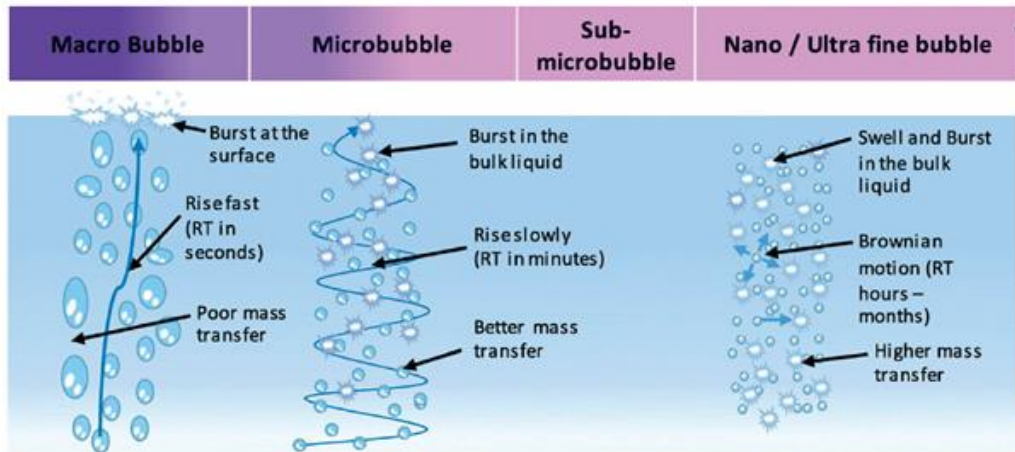


圖 1、水中氣泡行為特性比較 (Seridou and Kalogerakis, 2021)

三、技術原理與創新優勢

根據 Young-Laplace 方程式 (如圖 2 中方程式) 可知，氣泡內部壓力與氣泡直徑成反比，因此在微細氣泡爆裂的瞬間會產生一個高壓點 (Li et al., 2009)。通常，微細氣泡爆裂瞬間會產生高溫高壓 (約 2800K 及 4.5 GPa)，這會在氣泡周圍產生顯著的流體動力效應與能量釋放 (Li et al., 2009; Alhashan et al., 2018)，如圖 2 所示。而隨著氣泡的收縮，爆裂時釋放的能量也會隨之增加 (Walls et al., 2017)。目前已有許多研究證實，水中微細氣泡在爆裂過程中會發生熱裂解反應，於氣/液界面產生震波 (shock wave)、氫氧自由基 (OH radical) 以及其他活性氧物質 (例如 HO₂⁻、O₂²⁻ 與 O₂⁻ 等)，這些強氧化劑有助於分解難以處理的油品、揮發性有機物 (如苯、甲苯、乙苯、二甲苯等) 以及其他有機污染物 (Tekil et al., 2017)，如圖 3 所示。

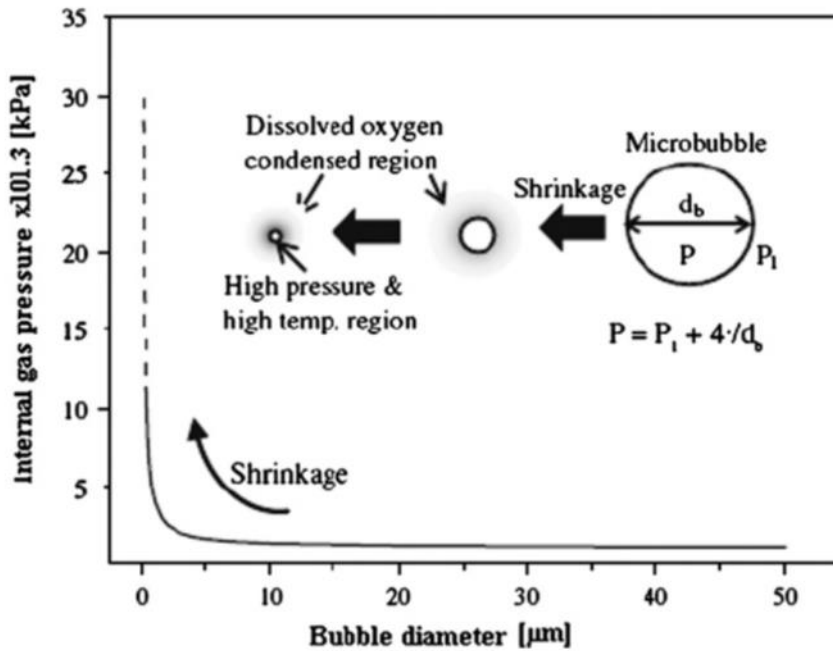


圖 2、微細氣泡收縮過程中內部壓力之變化情形 (Li et al., 2009)

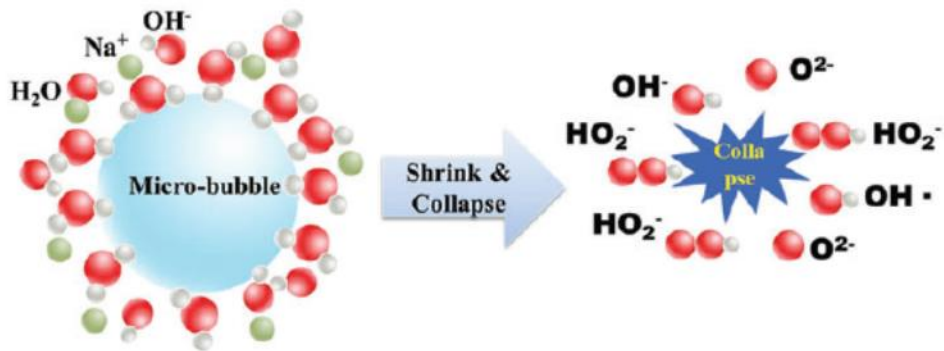


圖 3、微細氣泡爆裂過程中氫氧自由基及反應性氧物種之生成 (Yu et al., 2017)

圖 4 為油品污染土壤微細氣泡清洗技術之反應機制。首先，氣泡產生器利用氣泡縮小效應生成微細氣泡 (<50 μm)。當微細氣泡上浮至水面過程中，會因爆裂瞬間釋放出高壓震波、能量及氫氧自由基，進而將污染油品從土壤顆粒中分離去除及分解。由於油品具有疏水性，且與微細氣泡表面有良好的親和力，因此在微細氣泡持續上浮的過程中，油污染物將被微細氣泡捕集，同時避免油

品再次附著於土壤顆粒上，達到有效的油品去除效果 (Tano and Sobhy, 2019)。因此，生成直徑更小的超微氣泡可帶來更多的能量釋放與氫氧自由基、更大的反應表面積及更長的停留時間，理論上將能提高油品污染物之去除效果。

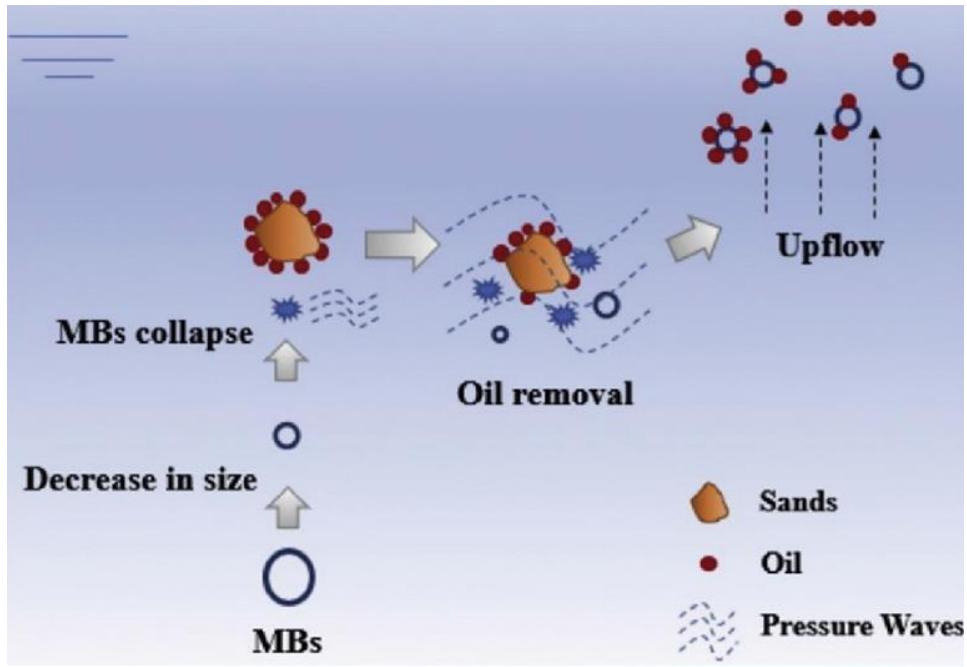


圖 4、油品污染土壤超微氣泡清洗技術之理論機制 (Sun et al., 2019)

四、現地模場測試成果與效益

為驗證超微氣泡技術於實際場域的可行性與效能，本計畫選定南部某污染場址進行模場實驗。該區域長期受柴油、原油、苯類等石化產品污染，總石油碳氫化合物 (TPHd) 最高濃度達 30,000 mg/kg 以上，土壤地質以砂質為主。屬於典型重度污染場址。現地模場試驗流程、操作數據與現場測試成效，分別敘述如下：

1. **系統配置：**串聯式三槽清洗系統，澄清槽，配合超微氣泡生成設備，並設置回流水循環（如圖 5 所示）。本試驗中超微氣泡的直徑分佈範圍介於為 10 nm 到 250 nm；以超微氣泡大小約以 10 nm 到 70 nm 為主，其中約在 30 nm 左右出現一波峰（百分比約 42%）；奈米級氣泡

($<100\text{ nm}$) 之累積百分比高達 92%，意即此處之微細氣泡幾乎都為奈米級氣泡 (圖 6)。

2. 操作參數範圍

- (1) 土壤處理量：50-150 g/L。
- (2) 柴油濃度：2,000-50,000 mg/kg。
- (3) 處理時間：20-60 分鐘。

3. 試驗流程概述

- (1) 前處理：採集污染土壤，去除大塊雜質，風乾篩分後分級分析。
- (2) 反應操作：將土壤依參數加入清洗槽，啟動超微氣泡水進流，依序通過三個清洗槽。
- (3) 固液分離：澄清槽進行自然沉降或快速加藥固液分離，回收清洗水後濾除懸浮固體。
- (4) 後處理：分析清洗後土壤 TPHd 含量，評估是否低於法規標準，如不足再循環處理。
- (5) 浮渣收集：浮渣含油量分析，用於後續熱處理或再利用評估。

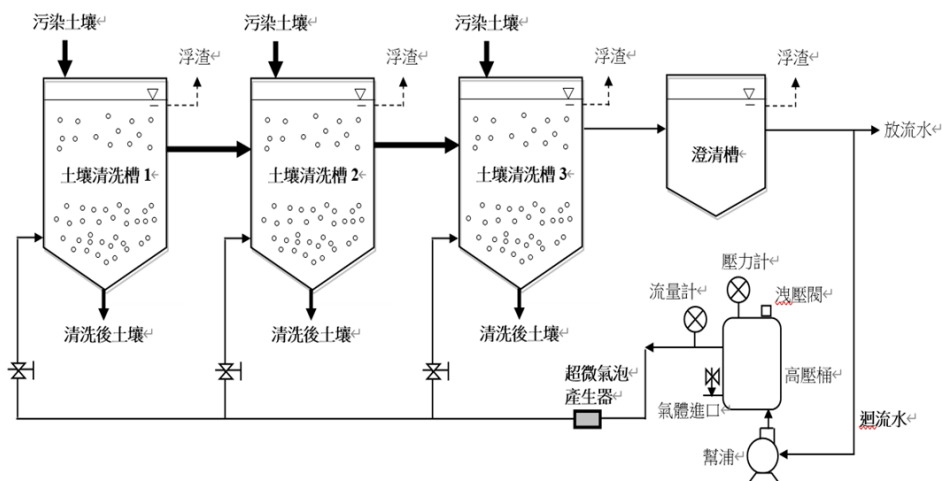


圖 5、超微氣泡清洗技術之現地模場試驗系統

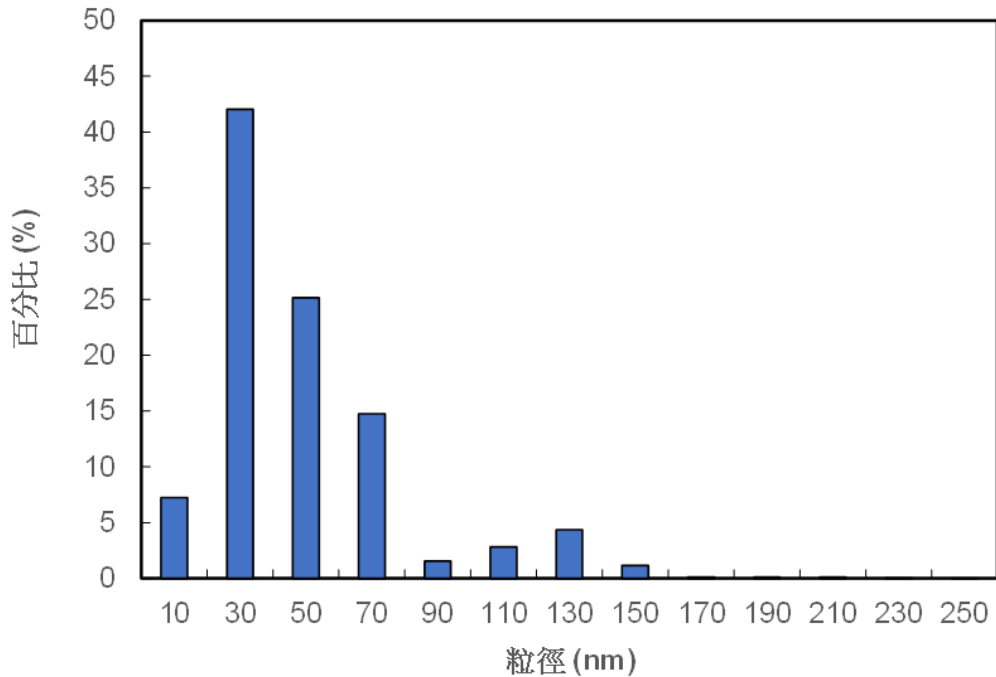


圖 6、現地模場測試中超微氣泡之粒徑分佈

4. 關鍵數據與分析

(1) TPHd 去除率 (圖 7)：

- 50 g/L 土壤處理量下去除率可達 65~82% 左右。
- 100 g/L 時達 78~85%，150 g/L 達 70~80%，顯示土壤處理量增加略降低效率，但仍具商業可行性。

(2) 污染濃度影響 (圖 8)：

- 低濃度 (1,310 mg/kg)，清洗後 TPHd 去除達 80%。
- 中濃度 (34,170 mg/kg)，清洗後 TPHd 去除約 87%。
- 高濃度 (53,760 mg/kg)，清洗後 TPHd 去除 75%，需增設槽位或延長時間。

(3) 土壤質地差異：砂質土去除效率較粉質土高約 10%，建議優先選

擇高滲透性土壤場址導入技術。

(4) 浮渣含油量：清洗槽浮渣含油率約 2-5%，適合後段資源化或熱處理。

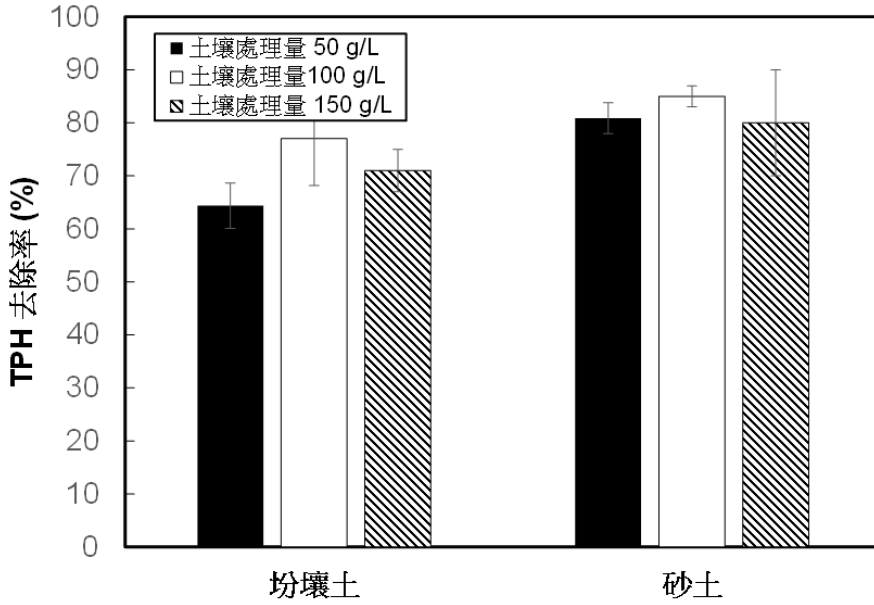


圖 7、超微氣泡清洗技術現地模場試驗中不同質地土壤柴油之去除率比較

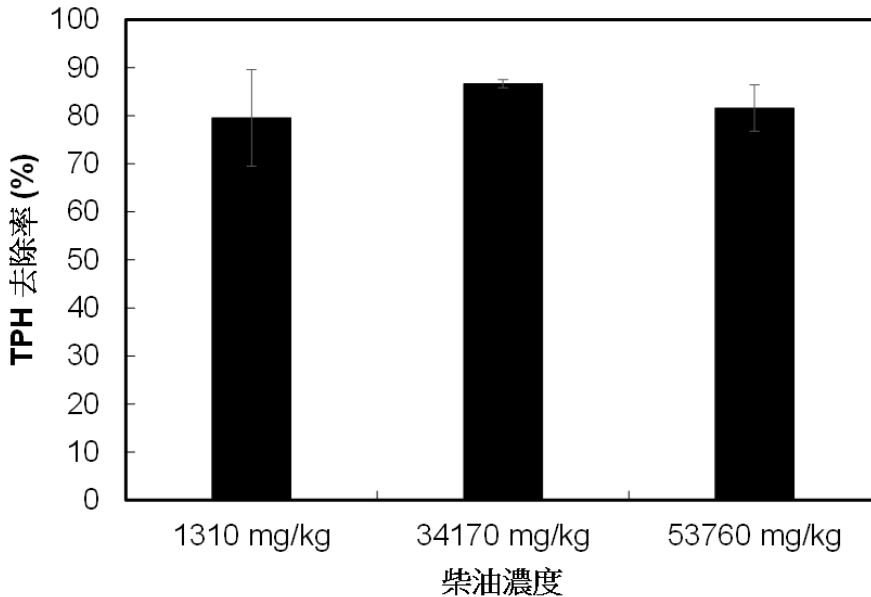


圖 8、超微氣泡清洗技術現地模場試驗中不同柴油濃度之去除率比較

整體而言，當處理濃度小於 10,000 mg/kg 時，經過清洗後所有槽體的土壤皆能符合法規標準（TPH < 1,000 mg/kg）；即使在高濃度污染土壤情況下，經適當調整操作條件與反應時間，亦能明顯降低污染物含量，並具備高度再處理潛力。此成果證明技術不僅具備強大處理能力，也能因應污染複雜多樣的實場需求。

與目前常用的熱脫附、化學氧化與生物處理等方法相比，超微氣泡技術在處理速度、成本效益與環境安全性方面展現出明顯優勢。熱脫附法雖可快速去除油品，但其能耗高、設備投資大，且易造成土壤性質劣化；化學氧化則需使用高濃度氧化劑，容易對地下水與土壤微生物造成衝擊；生物處理雖為低耗能技術，卻反應時間長，且易受氣候與污染物類型限制。反觀超微氣泡技術具備物理與化學雙重機制，處理時不需高溫或強氧化劑，可於常溫操作，縮短反應時間，提升整治效率；同時其使用水作為傳遞媒介，大幅降低處理後廢液的毒性與難度，是兼具技術成熟度與應用前景的理想整治方案。

五、實際應用潛力與技術推廣挑戰

隨著土壤污染整治標準趨嚴，市場對於高效且低污染之處理技術需求日增。超微氣泡清洗技術具備模組化設計與場址彈性適應能力，特別適用於加油站、工廠、軍用儲槽區等具體且明確污染源的地點。此外，技術所需設備與操作流程相對簡單，具備可攜式與現地操作的優勢，能有效減少污染土壤運輸與集中處理的額外成本與風險。目前，本技術已具備技轉與商品化潛力，未來可結合在地工程顧問業者，建立「技術-設備-操作-回收」一條龍整治服務鏈，進軍污染整治工程承攬市場。特別是在土壤資源高度依賴回收再利用的國家與地區，本技術可提供穩定、低碳、高效的解決方案。

儘管超微氣泡技術展現出良好應用潛力，仍面臨若干推廣障礙，包括：大眾對新興技術接受度不足、現有的法規對清洗處理程序定義模糊、技術標準與操作指引尚未建立等。針對這些挑戰，建議應加強跨部會協調，制定針對新興綠色整治技術之指引；同時透過示範場域推動技術社會驗證與推廣教育，提升利害關係人（如土壤承包商、地方政府與開發單位）之技術信任度。

另一方面，應建立由產學研協作機制所構成的技術評估與驗證平台，持續優化氣泡生成器效能、控制流程與監測方法，並與國際標準接軌，強化技術輸出與專利佈局策略，為國內環保技術產業打開新局。

六、結語

隨著全球對於汙染責任歸屬、棕地開發再利用與循環經濟日趨重視，汙染整治市場規模預計將持續擴大。根據市場研究機構估計，亞太地區未來十年內將成為全球汙染場址整治成長最快的區域，尤以中國、印度與東南亞地區對整治技術需求最為強勁。台灣作為亞太區內技術創新的重要樞紐，若能搶先建立自主且具出口競爭力的整治技術體系，將有助於掌握外銷契機。同時，政府若能透過補助、獎勵與租稅減免等政策工具，加速環保技術實地試驗與產業化進程，並建立整治成效評估與認證機制，將有助於建構有利於本土技術萌芽與成長之生態系統。

為進一步提升超微氣泡清洗技術之處理效率與應用廣度，未來研究應著重以下幾點：其一，開發多氣體混合型超微氣泡生成系統，以強化自由基產量與反應速率；其二，結合其他物理化學等方法，強化氣泡破裂效果，提昇處理效能；其三，建立即時線上監測模組，提升現地操作控制能力。

參考文獻

- Abdel-Moghny, T., Mohamed, R. S. A., El-Sayed, E., Aly, S. M. and Snousy, M. G. (2012). Removing of hydrocarbon contaminated soil via air flushing enhanced by surfactant. *Appl. Petrochem. Res.* 2, 51-59.
- Agarwal, A., Ng, W. J. and Liu, Y. (2011). Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment. *Chemosphere* 84, 1175-1180.
- Agarwal, A., Zhou, Y. and Liu, Yu. (2016). Remediation of oil-contaminated sand with self-collapsing air microbubbles. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 23, 23876-23883.
- Alhashan, T., Addali, A., Teixeira, J. A. and Naid, A. (2018). Experimental

- investigation of the influences of different liquid types on acoustic emission energy levels during the bubble formation process. *Int. J. Energy Environ. Eng.* 9, 13-20.
- Azevedo, A., Oliveira, H. and Rubio, J. (2019). Bulk nanobubbles in the mineral and environmental areas: Updating research and applications. *Adv. Colloid Interface Sci.* 271, 101992.
- Brown, D. M., Okoro, S., van Gils, J., van Spanning, R., Bonte, M., Hutchings, T., Linden, O., Egbuche, U., Bruun, K. B. and Smith, J. W. N. (2017). Comparison of landfarming amendments to improve bioremediation of petroleum hydrocarbons in Niger Delta soils. *Sci. Total Environ.* 596, 284-292.
- Lee, I., Kim, J., Jung, T., Oh, S. and Kim, G. (2016). The Study of Crude Oil Contaminated Soil Remediation by Indirect Thermal Desorption. *J. Soil Groundwater Environ.* 21, 14-20.
- Li, G., Guo, S. and Hu, J. (2016). The influence of clay minerals and surfactants on hydrocarbon removal during the washing of petroleum-contaminated soil. *Chem. Eng. J.* 286, 191-197.
- Li, P., Takahashi, M. and Chiba, K. (2009). Degradation of phenol by the collapse of microbubbles. *Chemosphere* 75, 1371-1375.
- Seridou, P. and Kalogerakis, N. (2021). Disinfection applications of ozone micro- and nanobubbles. *Environ. Sci. Nano* 8, 3493-3510.
- Sun, H., Liu, H., Wang, S. and Liu, Y. (2019). Remediation of oil spill-contaminated sands by chemical-free microbubbles generated in tap and saline water. *J. Hazard. Mater.* 366, 124-129.
- Sutton, N. B., Grotenhuis, T. and Rijnaarts, H. H. M. (2014). Impact of organic carbon and nutrients mobilized during chemical oxidation on subsequent bioremediation of a diesel-contaminated soil. *Chemosphere* 97, 64-70.
- Tao, D. and Sobhy, A. (2019). Nanobubble effects on hydrodynamic interactions between particles and bubbles. *Powder Technol.* 346, 385-395.
- Tekil, A., Kim, I. and Lee, J. Y. (2017). Applications of ozone micro- and
-

- nanobubble technologies in water and wastewater treatment: Review. *J. Korean Soc. Water Wastewater* 31, 481-490.
- Walls, P. L. L., McRae, O., Natarajan, V., Johnson, C., Antoniou, C. and Bird, J. C. (2017). Quantifying the potential for bursting bubbles to damage suspended cells. *Scientific Reports* 7, 15102.
- Wang, C., Rosenfeldt, E., Li, Y. and Hofmann, R. (2019). External standard calibration method to measure the hydroxyl radical scavenging capacity of water samples. *Environ. Sci. Technol.* 54, 1929-1937.
- Wang, W. H., Hoag, G. E., Collins, J. B. and Naidu, R. (2013). Evaluation of surfactant-enhanced in situ chemical oxidation (S-ISCO) in contaminated soil. *Water Air Soil Pollut.* 224, 1713.
- Yu, X., Wang, Z., Lv, Y., Wang, S., Zheng, S., Du, H. and Zhang, Y. (2017). Effect of microbubble diameter, alkaline concentration and temperature on reactive oxygen species concentration. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 92, 1738-1745.

基於基因演算法與距離匹配之地下管線腐蝕缺陷檢測資料分析

A Genetic Algorithm based Distance Matching Approach in Identifying Corrosion Defects from Underground Pipeline Inspection Data

李婉瑜，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系

陸彥儒，國立高雄科技大學/設備可靠度與系統安全技術研發中心 博士

王振華，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系 教授

聯絡作者: cwang@nkust.edu.tw

摘要

地下管線為國家能源運輸與工業運作的重要基礎設施，通常主要輸送天然氣、石油及其他化工產品，然而隨著管線的運作年限增加及長期暴露在複雜的環境因素下，管線結構逐漸受到破壞 (Shahriar et al., 2012)，導致發生劣化，若沒有有效的檢測與維護，管線腐蝕可能導致洩漏、破裂等嚴重事故，因此須精準掌握腐蝕缺陷的變化與分布。

管線檢測多採用智慧型清管器 (Intelligent Pig, IP) 中的磁通漏檢測 (Magnetic Flux Leakage, MFL) 技術，此技術通過管壁內磁場的變化偵測管線的內外部缺陷，但由於檢測設備的精準度差異、訊號與處理誤差、累積的定位誤差，導致後續缺陷比對更加困難，尤其在人工比對的情況下，容易因操作人員經驗差異或判斷失誤，產生漏報或誤報的情形，嚴重影響管線後續維護決策。

為解決上述問題，因此結合近鄰演算法 (KNN) 和基因演算法 (GA) 來進行管線腐蝕缺陷的特徵匹配，首先透過兩次管線檢測數據報告 (Pipe Tally) 提取特徵，並針對不同特徵進行數據校正，以消除因儀器設備和檢測條件產生的隨機誤差，且不同特徵之間因尺度大小不同，相似度匹配時，某些特徵的影響會被過度強調，基因演算法能夠自動尋找各特徵的最佳權重，解決因特徵尺度差異所造成的匹配偏差，提高兩輪檢測結果的準確性。

研究結果採用實際案例，進一步說明演算法的可靠性，能夠有效識別缺陷在管線兩輪檢測中的異常情況，改善傳統人工比對效率，並降低人工比對錯誤風險，另外可以觀察到管線缺陷明顯聚集性集中於管線的起點和終點區域，此分布可能是不同環境因素差異影響，後續研究可以加強在何種環境因素下，容易出現腐蝕劣化缺陷，使業者能更精準管線在缺陷上預知並採取措施預防維護改善。

【關鍵字】 地下管線、管線檢測、腐蝕劣化、群聚分析、基因演算法

一、前言

運輸石油和天然氣等能源管線為國家關鍵基礎設施，世界上許多石油和天然氣管線已運行幾十年，隨著老化及管理不當，發生洩漏破裂和腐蝕事故風險也會增加，一旦出現故障，就可能對公共安全造成巨大後果。

因此在造成嚴重後果前，準確的管線監測和檢查維護相當重要，內部管線檢測 (In-Line Inspection, ILI) 主要是用於輸送管線非破壞性檢測技術，識別管線內外部腐蝕、裂紋、變形等缺陷，業者以 ILI 工具稱為「智慧型清管器」 (Intelligent PIG, IP) 檢測技術，可以對缺陷的類型及屬性進行分類，其中最廣泛使用工具為磁通漏檢測 (MFL)，如圖 1 所示，清管器內的強永磁體使管壁沿軸向充滿流動的磁通量，當 PIG 穿過管線時遇到異常，磁通量就會洩漏，而霍爾效應感測器等裝置會偵測訊號，並根據訊號的形狀和幅度，估計異常反應 (Boaretto and Centeno, 2016)。

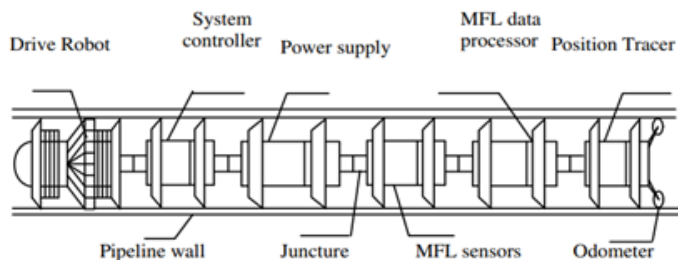


圖 1、PIG 結構示意圖 (Mao et al., 2014)

材料被外部磁場磁化後 (Jinfeng et al., 2006)，磁場通常會沿著材料內部均勻分佈，但當材料存在缺陷 (如腐蝕、裂縫) 時，磁場會在缺陷處發生畸變，導致磁場洩漏到材料表面 (Dawson et al., 2012)，如圖 2 磁場在三個方向 (軸向、徑向、周向) 上發生變化，根據磁場洩漏的強度，可分析缺陷的嚴重程度。

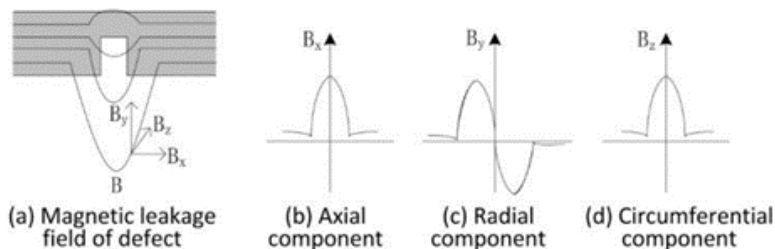


圖 2、訊號檢測 (Chen et al., 2021)

ILI 檢測結果透過精確的檢測數據，能夠進行早期發現缺陷，採取適當維護措施，避免突發性管線破裂或洩漏，目前 ILI 檢測技術法規標準並無統一，通常為管線運營商要求檢測商法規規範制定，因此每次進行檢測時，在儀器型號、儀器精準度、測量條件都需名文規定，因此管線運營商論壇在 2020 年提出需符合智慧管線檢測標準 (POF 100) (Member of POF, 2021)，使數據在每一次檢測中，能更佳精準統一呈現在報告中，另外常用良好工程實務標準及國際法規如 API STD 1163 (2021)、ASME B31.8S (2020)、49 CFR Part 192 (PHMSA, 2020) 等作為參考。

有效的管線管理通常依賴於準確 ILI 檢測和數據分析，當檢查結果和歷史數據匹配時，可以觀察管線狀況變化，如評估腐蝕速率，確認哪些區域的是容易腐蝕損壞速度、裂紋擴大的變化趨勢，從中提供更準確的預測維護作為依據，避免更大範圍的損壞，從而延長管線使用壽命並降低營運成本。

在過去研究中 ILI 數據匹配，一開始缺陷特徵匹配通常是手動執行，不同人員經驗抓取訊號的細心度及解讀差異而對產生偏差或遺漏數據，容易出現錯誤，Dann 和 Dann (2017) 將具有可能大量特徵的幾個 ILI 的大小縮減為一組獨立較小問題，利用點匹配以有效匹配腐蝕特徵，Liu 等人 (2019) 將匹配視為分類 (classification) 問題，可以對獨立變數假設的匹配或不匹配的腐蝕特徵進行分類定義變數間的關係類型，但上述匹配方法僅能一對一匹配，更常見的多對多並沒有考慮進去。Peng 等人 (2021) 提出將多模態 MFL 資料融合，基於位置資訊進行分組，透過空間聚類 (DBSCAN) 演算法進行多對多的匹配，並排除資料的異常值，但實驗未對儀器誤差進行修正，可能導致因測量偏差而錯誤分類。

二、研究方法

基於管線檢測報告 (Pipe Tally) 缺陷數據，將透過數據校正對齊、距離計算、特徵匹配與基因演算法優化提升匹配準確度。圖 3 為本研究流程圖，此流程可解決不同檢測設備數據格式不統一、測量誤差與匹配準確性問題，為管線維護及決策提供可靠依據。

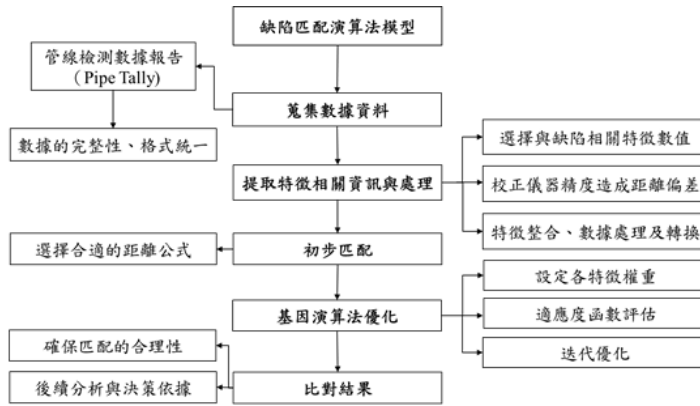


圖 3、研究流程圖

2.1 蒐集數據資料

在進行管線數據分析時，須將訊號轉為數據以便進行分類比較，因此管線原來為三維（3D）縱向系統，如圖 4，由於腐蝕只會發生在管壁，因此為了更直觀顯示管壁缺陷的分佈和形態，簡化為在二維平面上對特徵進行映射，如圖 5。

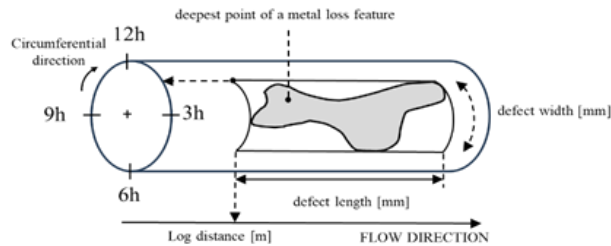


圖 4、腐蝕特徵位置 (Amaya-Gómez et al., 2016)

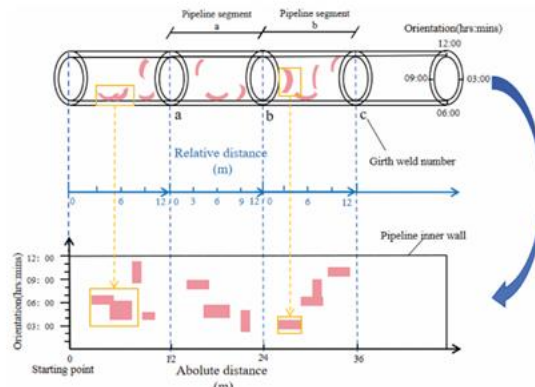


圖 5、缺陷資料轉為二維平面 (Gu et al., 2024)

2. **分類標籤特徵：**透過類別編號，幫助快速篩選對象進行匹配。
 - (1) 管段編號：標識管線的特定段落，縮小匹配範圍，確保缺陷在同一管段內比對。
 - (2) 缺陷類型：如腐蝕、裂紋、機械損傷、製造缺陷，確保在匹配時只比較相同類型的缺陷。
 - (3) 缺陷表面位置：描述缺陷位於管線內表面還是外表面，內外表面缺陷應分開匹配，內部缺陷不會跟外部缺陷匹配。
3. **形狀特徵：**用來量化缺陷，比較缺陷是否變化。
 - (1) 長度：缺陷在管線軸向延伸範圍。
 - (2) 寬度：缺陷在管線橫向方向延伸範圍。
 - (3) 深度：缺陷的最大滲透管線深度，是評估缺陷嚴重程度的關鍵指標。

2.2 數據處理校正

ILI 工具主要依賴磁場測量或慣性導航系統來確定缺陷位置，但在實際運行中，設備的漂移與滑動會導致位移誤差，這些誤差會在位置估算過程中逐漸累積，形成系統性偏差，圖 7 中，工具會從前一個位置 P_0 的運動中估計當前位置，通常定錨在已知的位置 X_0 ，根據 $\delta\vec{x}_1$ 存在隨機誤差，下一個位置為 X_1 ，隨著距離增大而逐漸累積。

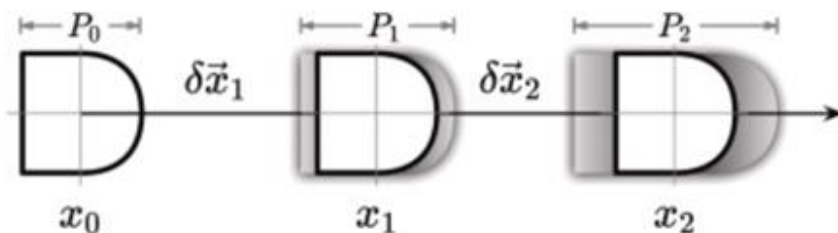


圖 7、狀態機更新累積誤差 (Champlin, 2025)

檢測數據比對工作，設備長度不同，本身尺寸和感測器位置的差異，工具的可檢測性有限及測量誤差 (Qin, 2014)，大大增加匹配困難性，而且數據呈

現會因檢測起點不同、檢測設備測量誤差、人員誤報或漏報，都會對數據產生影響，因此將對齊數據為首要任務。

2.2.1 里距校正

不同檢測設備之間存在型號長度差異、感測器擺置方式、以及測量起始點誤差，若未經校正，可能導致管線缺陷的位置資料產生系統性誤差。為提高匹配準確性，需透過里距與焊道距離進行校正，首先校正缺陷的絕對位置(里距)，再透過焊縫間距的相對比例關係進一步修正，以確保不同時段檢測的資料能夠對應。透過第一輪兩個焊道之間的相對位置比例，轉換為第二輪的相對距離，公式如下：

$$L_{1,i,new} = \frac{L_{1,i} - L_{1,launcher}}{L_{1,receiver} - L_{1,launcher}} \times (L_{2,receiver} - L_{2,launcher}) + L_{2,launcher}$$

符號說明：

$L_{1,i,new}$ = 校正後新的里距； L_1 = 第一輪檢測原始里距

$L_{1,launcher}$ = 第一輪上個焊道里距； $L_{1,receiver}$ = 第一輪下個焊道里距

$L_{2,launcher}$ = 第二輪上個焊道里距； $L_{2,receiver}$ = 第二輪下個焊道里距

2.2.2 焊道距離校正

Pipe Tally 中缺陷到焊道距離是以最近距離焊道數值，難免會對其匹配造成影響，而每次檢測過程中的誤差累積，即便里距校正後，缺陷與焊道之間的距離仍可能存在偏差，因此調整缺陷與焊道距離，使兩輪檢測皆為距離上一個焊道，透過校正完的新的里距，重新對缺陷與焊道的距離進行校正。

2.2.3 管節編號校正

管線由多個管節焊接而成，每個管節都有唯一的編號。管節編號校正的目的是確保不同檢測輪次的數據對應到相同的管節，避免錯誤匹配。

2.3 距離公式

由於這些特徵數據範圍與類型各不相同，在匹配過程中，用距離公式能夠

統一標準，將不同特徵的差異轉化為單一的匹配距離，可以通過計算特徵間的距離來量化相似度，兩輪數據距離差異越小代表匹配準確性越高，本研究中以最直觀的歐幾里得距離作為量化特徵距離值。

公式如下：

$$d(i, j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - y_{jk})^2}$$

符號說明：

$d(i, j)$: 數據點 i 和數據點 j 之間的歐幾里得距離

n : 特徵維度數量

x_{ik} : 數據點 i 在第 k 個特徵上的值

y_{jk} : 數據點 j 在第 k 個特徵上的值

2.4 應用機器學習執行缺陷匹配

機器學習 (ML) 在各個領域都取得不錯的發展，ML 模型的分析效率、穩定性和預測準確性都使人們不須花大量時間去做分析 (Amini et al., 2023)，減少對傳統手動資料分析的依賴，實現自主資料處理。

透過演算法學習找出管線缺陷數據中，自動在兩次檢測中缺陷找出相同對應將他們匹配，檢測腐蝕狀況，本研究採用近鄰演算法 (K Nearest Neighbors, KNN) 進行缺陷匹配，由於缺陷數據是高維度，KNN 可計算多種特徵找出相似數據，首先針對缺陷數據提取特徵，結合基因演算法，針對不同特徵調整權重，讓匹配結果更符合真實情況，進行適應度評估，選擇最佳匹配，對演算法無法確定的匹配點，專家知識進行確認，確保結果的可靠性。

2.4.1 近鄰演算法 (K Nearest Neighbors, KNN)

近鄰演算法 (K Nearest Neighbors, KNN) 常用於分類 (Jain et al., 2000) 和迴歸模型 (Wang et al., 2014)。Ayyad 等人 (2019) 提出基於 KNN 加權方法，並以其方法作為分析基因表現數據的分類。Li 等人 (2011) 將 KNN 融入特徵選擇架構中，以評估各特徵的優劣。傳統 KNN 方法是每個分配為 $1/K$ 的權重，代表 K 個樣本對於測試樣本類別的重要性是同等的，而忽略不同近鄰的重要性可能不同。

在演算法執行中，輸入較多的特徵可能會導致過度擬合並降低學習演算法的表現 (Dawson et al., 2012)，其中特徵集空間範圍大時，例如 "Log distance" 以公尺為單位，數值範圍可能達到幾萬，而 "Axial Length" 以毫米為單位，通常只有幾十或幾百，當用距離衡量不同缺陷之間相似性，當使用歐幾里得距離時，在沒有進行權重調整的情況下，這種數量級的不平衡在匹配計算中會導致某些特徵對匹配結果的影響過大，而其他特徵作用被減弱，最終影響匹配成效。

在數量級不平衡的資料，數量級多的類別在所有樣本中所佔比例很大，而數量級少的類別樣本只佔所有樣本的一小部分，模型中會完全忽略少數類別 (Yen and Lee, 2009)，為了更好的評估整個模型空間匹配不確定性，可以調整個別權重，使少數類別的影響力在學習過程中得到適當提升，從而提高模型的辨識能力。

本研究採用基因演算法 (Genetic Algorithm, GA)，通過優化每個特徵的權重，使所有特徵在匹配過程的貢獻程度均衡，從而提升匹配的整體準確性。基因演算法 (GA) 的主要目標是優化各特徵的權重配置，確保 ILI 1 和 ILI 2 之間的匹配誤差達到最小。

透過自動調整特徵權重，避免特定特徵對匹配過程產生不平衡影響，提升匹配結果的準確性。

2.5 基因演算法基本概念

為了解決不同特徵影響程度問題，使用基因算法 (GA) 來尋找最優特徵權重，使匹配距離為最小值，進而提升比對的準確度。

GA 是一種模仿生物進化過程的優化技術，基於以下三個主要操作來模擬自然選擇，如圖 8：

1. **選擇**：根據適應度選擇較優秀的個體，以便進一步繁殖。
2. **交配**：透過基因重組，產生新的後代個體，增加多樣性。
3. **突變**：隨機改變部分基因，以維持基因多樣性，防止陷入局部最優解。

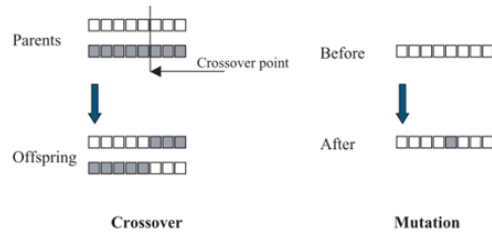


圖 8、基因交叉和變異操作 (Huang and Wang, 2006)

在 GA 中，每一個可能的解，表示為一條染色體，此研究中染色體是一組特徵權重值（9 個特徵），匹配過程中，每個特徵對匹配結果影響不同，基於以下幾個考量因素，來設定初始權重，並透過倍率來確保 GA 在合理範圍內進行優化：

1. **物理意義與量級**：不同特徵的數值範圍差異較大，例如里程距離以「m」為單位，而深度以「%」為單位，因此需要調整權重，使所有特徵在計算中具有相當的影響力。
2. **匹配影響程度**：某些特徵，如「管段編號」、「缺陷類型」、「缺陷表面位置」，若匹配錯誤，會嚴重影響，因此；而其他特徵，如「長度」和「寬度」，影響較低，因此權重較低。

2.5.1 基因演算法設定各特徵權重

利用基因演算法權重優化方法，以提升地下管線兩輪測量數據的匹配準確性。由於不同數據的測量範圍與單位可能不同，在比對過程中具不確定性，數值範圍較大的特徵可能會影響其他特徵，造成匹配結果偏差，每個特徵的上下限值是根據其在數據中的實際範圍和特性來設置。

1. 距離的數值範圍可能較大，因此使用平方差量級作為上下限設置的基準。

上下限計算：

$$lower_bound = 10^{(\log_{10}(F_{min,i})+3)}$$

$$upper_bound = 10^{(\log_{10}(F_{min,i})+4)}$$

符號說明：

$lower_bound$: 數值下限

$upper_bound$: 數值上限

$F_{min,i}$: 特徵最小值

2. 缺陷尺寸特徵，由於數值範圍較小，通常單位在毫米，因此應避免 GA 給它們過高或過低的權重，上下限設 100~1000。
3. 分類標籤特徵設置上下限時應固定範圍，因此設置較大範圍，上下限設 $10^3 \sim 10^6$ 。
4. 時鐘尺度特徵使用圓形距離公式來計算匹配距離，考慮角度的圓周性質，如果直接用絕對值相減，會忽略圓上的最短距離，公式如下：

$$d(q_1, q_2) = \sqrt{(\sin(q_1) - \sin(q_2))^2 + (\cos(q_1) - \cos(q_2))^2}$$

設置適中的上下限範圍可以防止角度特徵的權重過大或過小，上下限設 $10^2 \sim 10^5$ 。

2.5.2 適應度函數

典型基因演算法適應度函數將族群中不同個體的評估函數輸出到單一個體的適應度，通常由所有個體的平均評估 (Fröhlich et al., 2003)，但若是數據有異常偏離值或是數據尺度較大，則容易導致 GA 優化後陷入局部最優解，而偏離全局最佳解。

在做缺陷匹配時，首先以加權歐幾里得距離計算兩輪數據的相似度，適應度函數根據匹配距離的最小值結果，尋找最佳特徵權重組合，使數據匹配誤差最小，為了改進較大數據影響計算，使用最近 3 個匹配距離的平均值來計算適應度，可以有效平滑異常匹配距離的影響，進一步提升地下管線數據比對的準確性與可靠性。

公式如下：

$$\text{適應度函數: } fitness = - \hat{\alpha} \text{ mean}(\text{sortedDistances}(i, 1:3))$$

符號說明：

m ：新檢測數據樣本數

$sortedDistance$ ：基於特徵加權計算後的歐幾里得距離

$$d(i,j) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n w_k' d_k(i,j)}{\sum_{k=1}^n w_k}}$$

w_k ：第 k 個特徵的權重，權重範圍由 GA 自動優化

$sortedDistances(i,1:3)$ ：加權距離進行排序後，

取最接近 i 的 3 個匹配距離的平均值

2.5.3 基因演算法設定執行

基因演算法 (GA) 是一種自適應最佳化搜尋方法，根據達爾文進化論的「物競天擇，適者生存」規則演化，可以有效處理較複雜空間搜尋，在參數優化、機器學習調參數等問題上廣泛應用 (Salcedo-Sanz et al., 2002)，經過迭代計算，得出最佳的解 (Tan, 2018)。

1. 族群大小：選擇 200 個數量，為空間中搜尋多樣性群體，若數量較大或較小，會造成基因演算法過早及過度收斂，導致權重受到限制。
2. 迭代次數：選擇最大迭代 100 次，經測試後，當迭代 50 次時，適應度變化下降逐漸平穩。
3. 交配率：組合不同個體，較高的交叉率能將優良基因延續，加速收斂，因此設定為 0.1。
4. 突變率：可避免基因演算法只局限於部份，將突變率設為 0.8，使其能夠與新的權重做組合。

2.6 專家經驗判定標準

專家知識在數據分析過程中具有重要的補充作用。對於一些無法通過算法進行準確判斷的情況，可以對數據分析結果進行針對性的優化，以提高結果的準確性和可靠性。Jane 等人 (Dawson et al., 2012) 提出需同時考慮特徵位置公差及特徵尺寸報告公差，影響數據對齊處理：

1. 特徵位置公差

由於不同 ILI 工具的解析度和累距計算方法不同，會導致檢測特徵位置存在軸向和環向誤差。

1. 特徵尺寸報告公差

由於 ILI 工具的分辨率和測量精度造成特徵尺寸差異，專家經驗標準可以通過容許誤差設定，來確保合理範圍內的偏差不會被錯誤標記為不匹配，以下為專家經驗標準建議：

(1) 軸向位置匹配標準

- 容許標準為軸向長度的 $\pm 1\%$ ，且是從最後一個固定點計算，通常為焊道位置，當偏差在這個範圍內，視為有效匹配。

(2) 環向位置匹配準則

- 當環向位置範圍在 ± 15 到 30 分鐘(對應為 ± 40 至 80mm 之間)，視為有效匹配。

(3) 特徵尺寸匹配準則

- 尺寸在 ± 30 至 50 mm，視為有效匹配。

三、研究案例資料分析

3.1 案例管線資訊

本研究採用的實際案例為某石油管線的內外部腐蝕缺陷檢測與比對，透過兩次不同檢測時間(第一輪檢測:2019年10月，第二輪檢測:2023年12月)，檢測商提供的 Pipe Tally 數據做分析，管線的基本資訊如表 1 所示。

表 1、管線資訊

管徑	8 inch
管線型式	有縫鋼管
管厚(wt)	公稱厚度 8.18mm
最大操作壓力	45 kg/cm ²
設計壓力	63.23 kg/cm ²
管線長度	7.133 km

建造日期	1993
管線產品	汽油
檢測次數	2 次 (2019 年、2023 年)
報告閾值	10%

3.2 缺陷數據分析

兩輪檢測商針對管線進行內外部金屬損失檢測，如表 2，從檢測數據中發現，管線內部的金屬損失數量由第一輪檢測的 6 處降到第二輪的 1 處，且損失深度皆小於 20%，可以說明檢測商在數據訊號上有不同看法，且報告閾值中只提供 10% 的缺陷，這在於缺陷比對匹配上都是一大困難，而外部金屬損失從 20 個缺陷增加到 27 個，說明管線在這 4 年間腐蝕持續增長，且出現新缺陷。

表 2、內外部金屬損失

項目	第一輪 IP 檢測	第二輪 IP 檢測
內部金屬損失數量	6	1
深度 ≥ 50%	0	0
40% < 深度 < 50%	0	0
30% < 深度 < 40%	0	0
20% < 深度 < 30%	0	0
10% < 深度 < 20%	6	1
深度最深	14% (累距:2364.47m)	10% (累距:4132.524m)
外部金屬損失數量	6	1
深度 ≥ 50%	0	0
40% < 深度 < 50%	0	0
30% < 深度 < 40%	0	2
20% < 深度 < 30%	2	6
10% < 深度 < 20%	17	18
深度最深	52% (累距:16.22m)	62% (累距:16.335m)

3.3 缺陷特徵資訊整理

從 Pipe Tally 提取可以做為匹配的相關資訊，以便用於模型訓練，其中包括缺陷的里距、缺陷距離上一個焊道、管段編號、缺陷類型、時鐘方位、缺陷表面位置、缺陷大小特徵，如表 3，為確保資料準確性，採用兩次皆開挖確認

為同一個缺陷原始數據比對案例。

表 3、Pipe Tally 缺陷特徵資訊 (摘錄)

Pipeline tally (First round)								
Log distance (m)	anomaly to weld [m]	Joint no.	Feature identification	Orientation o'clock	Surface location	Axial length (mm)	Width (mm)	Depth (%)
16.22	-3.37	30	Corrosion	10:23	External	25	86	52
Pipeline tally (Second round)								
Log distance (m)	Distance to U/S GW (m)	Joint no.	Feature identification	Orientation o'clock	Surface location	Axial length (mm)	Width (mm)	Depth (%)
16.335	3.367	80	Corrosion	11:32	External	30	70	62

在表 3 案例中，原始數據之間存在明顯的差異，在前面章節有提到這可能是由於不同的檢測設備、數據記錄精度或測量偏差所導致，因此需將數據進一步做校正對齊及對特徵進行分類標籤，最終產生與第二輪檢測更為一致的檢測特徵資訊，如表 4，缺陷數據更加相合。

表 4、Pipe Tally 校正後缺陷特徵資訊 (摘錄)

Pipeline tally (First round)											
Log distance (m)	Up weld distance to centre of feature (m)	Joint no.	Feature identification	Feature identification	Orientation o'clock	Orientation o'clock	Surface location	Surface location	Axial length (mm)	Width (mm)	Depth (%)
16.335	3.486	80	Corrosion	1	10:23	311.50	External	1	25	86	52
Pipeline tally (Second round)											
Log distance (m)	Up weld distance to centre of feature (m)	Joint no.	Feature identification	Feature identification	Orientation o'clock	Orientation o'clock	Surface location	Surface location	Axial length (mm)	Width (mm)	Depth (%)
16.335	3.367	80	Corrosion	1	11:32	346.00	External	1	30	70	62

利用已校正後數據進行驗算，如表 5，列出它們之間的差值與平方差，可以看到在各個特徵大小於缺陷距離上的差異。

表 5、Pipe Tally 校正後缺陷特徵資訊 (摘錄)

特徵名稱	第一輪	第二輪	差值	平方差
里程距離 Log distance (m)	16.3356	16.335	0.0006	0.00000036
焊縫距離 Up weld distance to centre of feature	3.407	3.367	0.04	0.0016
管段編號 Joint no.	80	80	0	0

缺陷類型 Feature identification	1	1	0	0
時鐘方位 Orientation o'clock	311.5	346	$(\sin(\theta_1) - \sin(\theta_2))^2 + (\cos(\theta_1) - \cos(\theta_2))^2$	0.358
缺陷表面位置 Surface location	1	1	0	0
缺陷長度 Length (mm)	25	32	7	49
缺陷寬度 Width (mm)	86	52	34	1156
缺陷深度 Depth (%)	52	65	13	169

從圖 9 可以更明確了解未加權情況下，特徵占距離的比例，很明顯集中在缺陷的尺寸上，若單純只是計算直線距離，尺寸特徵嚴重影響匹配結果，因此後續進行加權時，需將尺寸影響降低。

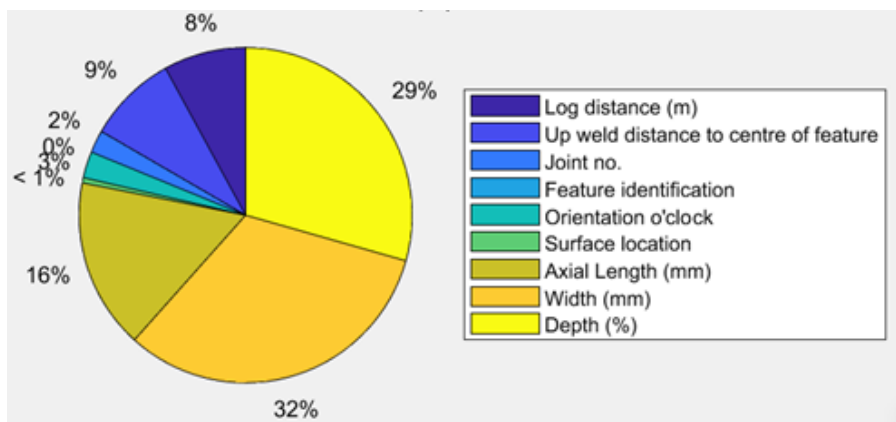


圖 9、未加權前特徵歐式距離比例

3.4 基因演算法 (GA)

進一步透過加權處理與基因演算法 (GA) 優化權重配置，以消除尺度差異對匹配結果。

執行結果的各特徵最佳權重：

- 里程距離 [Log distance (m)] : 99980667.4

- 焊縫距離 [Up weld distance to centre of feature] : 20106.2
- 管段編號 [Joint no.] : 125397.3
- 缺陷類型 [Feature identification] : 1451.3
- 時鐘方位 [Orientation o'clock] : 161269.9
- 缺陷表面位置 [Surface location] : 1771.8
- 缺陷長度 [Length (mm)] : 105.7
- 缺陷寬度 [Width (mm)] : 999.2
- 缺陷深度 [Depth (%)] : 3483.8

最終加權後數值匹配距離為 0.1341 :

$$\sqrt{\frac{\text{各加權後數值和}}{\text{各權重和}}} = \sqrt{\frac{1811296.07}{100782152.6}} = 0.1341$$

圖 10 為基因演算法 (GA) 優化後的特徵權重比例，其中 Log distance (m) 佔比 99.69%，顯示它在距離計算中對匹配成功的影響至關重要，容易造成匹配結果不穩定，透過右圖去除 Log distance 的影響後，可以觀察如 Orientation o'clock 和 Joint no. 在管線檢測中起到關鍵作用，可以讓匹配結果更加合理，進一步降低匹配誤差。

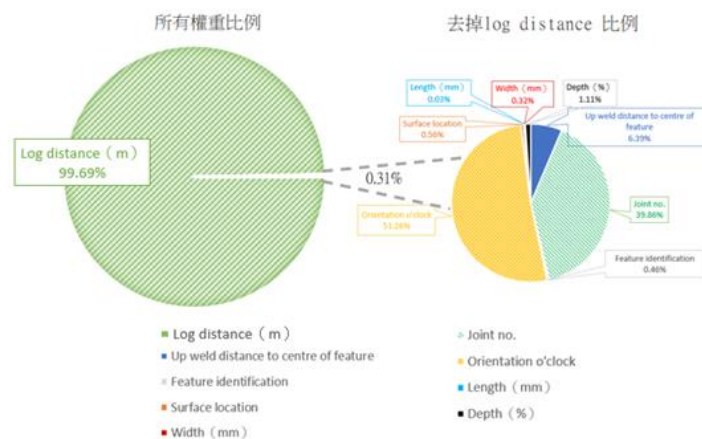


圖 10、加權後特徵歐式距離比例

圖 11 呈現檢測腐蝕特徵位置在進行特徵加權前後的匹配效果比較，左圖為未加權前的特徵點分佈情形，ILI1（紅色）與 ILI2（空心黑點）之間的匹配程度較差，多數特徵點散佈較廣，未能有效匹配，右圖是經過特徵加權調整後 ILI1 與 ILI2 間的特徵點分布較一致。

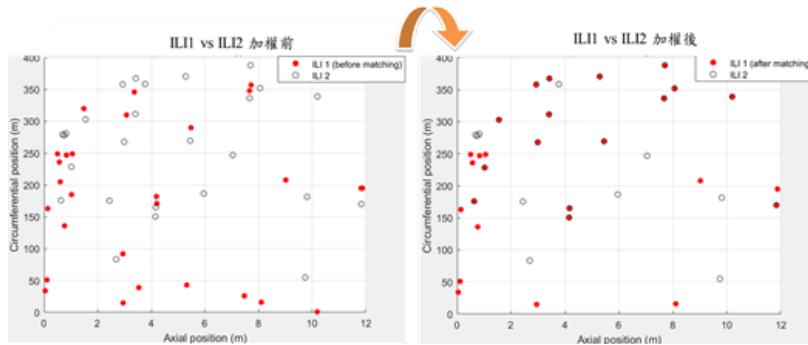


圖 11、檢測腐蝕特徵位置加權前後比對

四、結果與討論

通過缺陷統計資料，管線缺陷點在深度與里程距離上的分佈情形，如圖 12，可以明顯觀察到缺陷集中於特定區域，多位於里程距離較靠近起點與終點的位置，這些腐蝕點較多的敏感區域，可以進一步採取相應的措施加強敏感區域監測，而在中間區域出現一些完全無法匹配的缺陷點，可以幫助我們確認模型可信度。

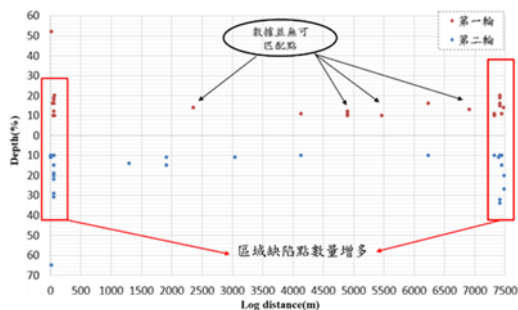


圖 12、案例缺陷統計資料

模型針對案例進行比對，將缺陷匹配結果可視化，如圖 13，第一輪檢測缺陷數量為 26 個，第二輪檢測缺陷數量為 28 個，總共匹配 18 個缺陷點，為了確保數據是否與圖 12 提供的資料有落差，一樣是使用缺陷里程距離做代表

進行比較，從這結果得出，圖中數據無法匹配的點，在此比對結果中也未能匹配，而匹配到的點，數據也較相似。

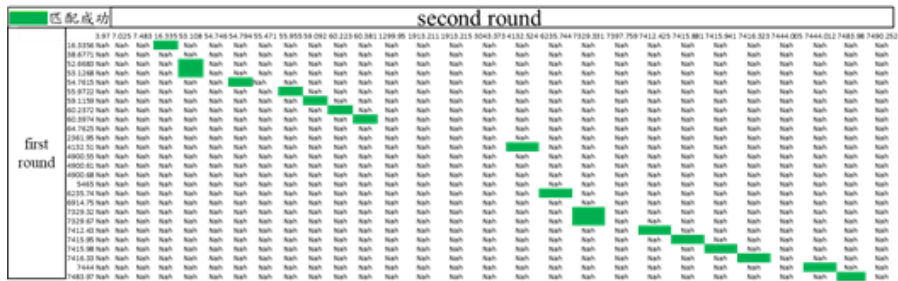


圖 13、案例缺陷匹配

圖 13 表示第一輪檢測和第二輪檢測缺陷匹配結果矩陣，綠色標記表示成功匹配的缺陷點，這些點特徵距離都低於前面預設的匹配閾值，從圖 13 觀察到匹配成功的點呈現對角線分佈，表示缺陷空間位置在兩次檢測中較為穩定。

後續也進一步透過專家經驗判定標準，確認數據是否介於標準內，但卻未匹配到，在此實驗中，未匹配到的數據，皆不在判定標準內，而匹配成功數據中，有 55% 在範圍內，反映出本研究方法在大多數情況下能夠有效捕捉，並匹配符合判定標準的缺陷點，但仍有 45% 匹配成功數據位於標準範圍之外，推測有可能是下面幾種原因：

1. 權重設置未完全符合特定場域需求: 權重參數仍可能受到個別管線條件或資料特性影響，導致部分匹配結果與實務需求不符。
2. 匹配距離閾值設置：匹配閾值可能未能完全涵蓋所有實際情境之變異性，導致部分邊界數據被誤判為匹配成功。
3. 檢測設備靈敏度與數據誤差：由於不同輪檢測使用的設備精準度與量測靈敏度存在差異，導致部分匹配點之特徵數據產生偏移。
4. 缺陷成長速度與形狀變化的影響：缺陷的成長速度及形狀變化並非線性進行，在不同環境條件（如溫度、濕度、土壤酸鹼度）下，缺陷可能會有非預期的擴展方式。這些不可預測的變化可能導致匹配點的特徵偏移。

五、結論

針對 Pipe Tally 數據提取缺陷相關特徵，主要將它們分為空間特徵、分類標籤特徵、形狀特徵，作為匹配基礎資料，由於智慧型清管器工具產生定位累積誤差，將數據校正後，通過案例數據，可以說明有效降低不同輪檢測間系統性誤差。

特徵匹配分析中，由基因演算法對特徵權重的優化，解決不同特徵尺度差異對距離計算的影響，與單純使用歐式距離計算相比，加權後的匹配結果明顯改善匹配準確性，並結合近鄰演算法（KNN），進行缺陷資料的匹配分析，成功識別 18 個匹配點。

匹配成功數據中 55% 的資料皆落在專家判定標準內，可以證明本研究方法的有效性，未來可透過專家經驗回饋機制持續調整匹配權重與距離閾值，加入敏感度分析，驗證不同權重和閾值組合對匹配結果的影響進行研究。

案例缺陷統計資料中，明顯觀察到缺陷在空間上的聚集，尤其在管線起點與終點區域顯著增加，反映出這些區域可能有較高的腐蝕與損壞風險，後續須特別觀察這些區域，是否有共同環境因素影響，未來在面對更多管線數據，就可以派人員著重去例行檢查這些位置。

在本次比對實驗結果，存在多種困難限制，像是檢測數據品質與完整性不足、檢測設備的精確度與操作方法差異可能產生額外誤差，增加了後續分析的困難性，影響演算法匹配執行，且由於部分缺陷比對特徵相似性較高，可能有重複匹配情況發生，這可能是因為多個缺陷成長為一個大的缺陷，又或者是檢測商人員在不同輪抓取缺陷訊號尺寸理解範疇不一，為了進一步了解數據是否存在爭議，甚至是錯誤匹配的，因此後續將會進行查看訊號比對，針對檢測結果中顯示的奇異缺陷點（例如第一輪檢測出缺陷，而第二輪未檢測等問題）進行深入調查。

未來模型改進需要對於儀器所造成的偏差、條件操作等方面進行調整，以來保證管線檢測資訊的一致性，在之後持續增加影像、磁通漏和振動訊號等資料，以便人員進行比對後查看問題，即時進行改善，建立精準的剩餘壽命預測

模型，提前採取預防措施及應對潛在風險，希望能以此提供更全面的數據提供工廠參考。

參考文獻

- Amaya-Gómez, R., M. Sánchez-Silva and F. Muñoz (2016). Pattern recognition techniques implementation on data from In-Line Inspection (ILI). *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 44, pp. 735–747, doi: 10.1016/j.jlp.2016.07.020.
- Amini, M., K. Sharifani and A. Rahmani (2023). Machine Learning Model Towards Evaluating Data gathering methods in Manufacturing and Mechanical Engineering. *Int. J. Appl. Sci. Eng. Res.*, vol. 15, no. 4, pp. 349–362. [Online] Available: <https://ssrn.com/abstract=4331917>
- API STD 1163 (2021). In-line inspection systems qualification standard, 3rd ed.
- ASME. (2020). Managing system integrity of gas pipelines. ASME Standard B31.8S-2020.
- Ayyad, S. M., A. I. Saleh and L. M. Labib (2019). Gene expression cancer classification using modified K-Nearest Neighbors technique. *BioSystems*, vol. 176, no. July 2018, pp. 41–51, doi: 10.1016/j.biosystems.2018.12.009.
- Boaretto, N. and T. M. Centeno (2016). Advanced signal processing of magnetic flux leakage data obtained from seamless gas pipeline. *NDT E Int.*, vol. 35, pp. 449–457. [Online] Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ndteint.2016.11.003>
- Champlin, C. L. (2025). Using odometry drift to match ILI joint boundaries for run comparisons. *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 213, no. February 2023, p. 105351, doi: 10.1016/j.ijpvp.2024.105351.
- Chen, P., R. Li, K. Fu and X. Zhao (2021). Research and Method for In-line Inspection Technology of Girth Weld in Long-Distance Oil and Gas Pipeline. *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1986, no. 1, doi: 10.1088/1742-6596/1986/1/012052.
- Dann, M. R. and C. Dann (2017). Automated matching of pipeline corrosion
-

- features from in-line inspection data. *Reliab. Eng. Syst. Saf.*, vol. 162, no. January, p. 44, doi: 10.1016/j.ress.2017.01.008.
- Dawson, J., R. Weller and G. Rao (2012). Identification of coincident features in pipelines using ili DATA. *Proc. Bienn. Int. Pipeline Conf. IPC*, vol. 2, pp. 27–37, doi: 10.1115/IPC2012-90134.
- Fröhlich, H., O. Chapelle and B. Schölkopf (2003). Feature Selection for Support Vector Machines by Means of Genetic Algorithms. *Proc. Int. Conf. Tools with Artif. Intell.*, no. July 2014, pp. 142–148, doi: 10.1109/tai.2003.1250182.
- Gu, L., S. Peng, E. Liu and P. Tang (2024). Automated matching and visualisation of magnetic flux leakage data in shale gas pipeline based on ICP and DBSCAN algorithm. *Nondestruct. Test. Eval.*, vol. 00, no. 00, pp. 1–25, doi: 10.1080/10589759.2024.2409391. [15] Jinfeng, D., K. Yihua and W. Xinjun (2006). Tubing thread inspection by magnetic flux leakage. *NDT E Int.*, vol. 39, no. 1, pp. 53–56, doi: 10.1016/j.ndteint.2005.06.005.
- Huang, C. L. and C. J. Wang (2006). A GA-based feature selection and parameters optimization for support vector machines. *Expert Syst. Appl.*, vol. 31, no. 2, pp. 231–240, doi: 10.1016/j.eswa.2005.09.024.
- Jain, A. K., R. P. W. Duin and J. Mao (2000). Statistical pattern recognition: A review. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 22, no. 1, pp. 4–37 doi: 10.1109/34.824819.
- Jinfeng, D., K. Yihua and W. Xinjun (2006). Tubing thread inspection by magnetic flux leakage. *NDT E Int.*, vol. 39, no. 1, pp. 53–56, doi: 10.1016/j.ndteint.2005.06.005.
- Li, S., E. J. Harner and D. A. Adjeroh (2011). Random KNN feature selection - a fast and stable alternative to Random Forests. *BMC Bioinformatics*, vol. 12, no. 1, p. 450, doi: 10.1186/1471-2105-12-450.
- Liu, H., Z. Liu, B. Taylor and H. Dong (2019). Matching pipeline In-line
-

- inspection data for corrosion characterization. *NDT E Int.*, vol. 101, no. September 2018, pp. 44–52, doi: 10.1016/j.ndteint.2018.10.004.
- Mao, B., Y. Lu, P. Wu, B. Mao and P. Li (2014). Signal processing and defect analysis of pipeline inspection applying magnetic flux leakage methods. *Intell. Serv. Robot.*, vol. 7, no. 4, pp. 203–209, doi: 10.1007/s11370-014-0158-6.
- Member of POF (2021 Nov.). Specifications and requirements for in-line inspection of pipelines. POF 100. [Online] Available: www.pipelineoperators.org
- Moreno, P. J., M. A. Ellinger and T. A. Bubenik (2016). ILI to ILI comparisons - Quantifying the impact of multiple inspections. *Proc. Bienn. Int. Pipeline Conf. IPC*, vol. 1, pp. 1–9, doi: 10.1115/IPC2016-64547.
- Peng, X., H. Liu, K. Siggers and Z. Liu (2021). Automated Box Data Matching for Multi-Modal Magnetic Flux Leakage Inspection of Pipelines. *IEEE Trans. Magn.*, vol. 57, no. 5, doi: 10.1109/TMAG.2021.3061060.
- Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration (PHMSA). Transportation of natural and other gas by pipeline: Minimum Federal safety standards (49 CFR Part 192). *U.S. Gov. Publ. Off.*.
- Qin, H. (2014). Probabilistic modeling and Bayesian inference of metal-loss corrosion with application in reliability analysis for energy pipelines.
- Salcedo-Sanz, S., M. Prado-Cumplido, F. Pérez-Cruz and C. Bousño-Calzón (2002). Feature selection via genetic optimization. *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 2415 LNCS, pp. 547–552, doi: 10.1007/3-540-46084-5_89.
- Shahriar, A., R.Sadiq and S.Tesfamariam (2012). Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis. *J. Loss Prev. Process Ind.*, vol. 25, no. 3, pp. 505–523, doi: 10.1016/j.jlp.2011.12.007.
-

- Tan, K. (2018). Revenue Optimization of Pipelines Construction and Operation Management Based on Quantum Genetic Algorithm and Simulated Annealing Algorithm. *J. Appl. Math. Phys.*, vol. 06, no. 06, pp. 1215–1229, doi: 10.4236/jamp.2018.66102.
- Wang, A., N. An, G. Chen, L. Li and G. Alterovitz (2014). Accelerating incremental wrapper based gene selection with K-Nearest-Neighbor,” *Proc. - 2014 IEEE Int. Conf. Bioinforma. Biomed. IEEE BIBM 2014*, no. December, pp. 21–23, doi: 10.1109/BIBM.2014.6999395.
- Yen, S. J. and Y. S. Lee (2009). Cluster-based under-sampling approaches for imbalanced data distributions. *Expert Syst. Appl.*, vol. 36, no. 3 PART 1, pp. 5718–5727, doi: 10.1016/j.eswa.2008.06.108.
- Zhang, J. *et al.*(2025). In-line inspection methods and tools for oil and gas pipeline: A review. *Int. J. Press. Vessel. Pip.*, vol. 214, doi: 10.1016/j.ijpvp.2024.105409.

探討風險基準檢查後果分析保守性對石化廠安全關鍵設備 風險管理之影響

Investigating the Impact of Consequence Analysis Conservatism in RBI on the Risk Management of Safety- Critical Equipment in Petrochemical Plants

陸彥儒，國立高雄科技大學/設備可靠度與系統安全技術研發中心 博士

黃詠盈，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系 碩士

王振華，國立高雄科技大學/環境與安全衛生工程系 教授

聯絡作者: 0515912@nkust.edu.tw

摘要

石化與化工產業在高壓、高溫及高危害化學品等操作條件下，若設備失效，往往導致具大規模災害潛勢的火災、爆炸或毒性物質洩漏。為防範此類災難事故，工廠普遍導入風險基準檢查（RBI）以量化設備破漏的可能性與後果嚴重度，並據以制定檢查方案。RBI方法將後果分析分為 Level 1 與 Level 2：前者採用代表性流體與簡化模型，適用於一般情形；後者則考慮實際化學品與操作參數，能更精準地掌握洩漏事故的衝擊。然而，國內文獻較少針對兩種後果分析方法進行系統化比對，亦缺乏大規模案例以評估實務應用時可能出現的高估或低估情況。本研究以 Level 1 列出的碳氫化合物為基礎，選取對應之實際化學品進行大量測試，發現部分類型在 Level 1 呈現保守高估，另有部分則顯著低估。尤其對高碳數化合物或像氫氣此類性質特殊的氣體而言，僅依賴 Level 1 容易出現安全隱憂，進而影響檢測規劃與維修資源配置。為使 RBI 在石化廠安全關鍵設備的管理更有效率，建議在遇到高風險區域或特殊化學品時，採用 Level 2 以獲得更精準的後果預估，並適時更新化學品及製程資料，以確保評估結果能反映真實運作條件，最終提升設備完整性與整體安全。

【關鍵字】後果分析、風險基準檢查、設備完整性、安全關鍵設備、火災爆炸

一、前言

石化與化工產業一向被視為可能引發重大危害的製程領域 (Sklet, 2006)。此一產業常需要操作高危害等級的化學品，或在極端溫度、壓力等特殊條件下生產，若管理不善或設備失效，往往會導致規模龐大的火災、爆炸或毒性洩漏，產生嚴重人員傷亡及財產損失。回顧歷史的多起重大事故（以下簡稱為 PSM 事故），就能看出此特性使石化與化工領域備受關注。由於事故產生之後果極為嚴峻，且往往跨越工廠本身的範疇而波及周遭社區，致使社會大眾對石化廠之安全也有更高期許。

就統計數據來看，雖然該產業的重大事故發生率相對整體運行時數而言並不算高，但一旦釀禍，影響甚鉅。例如：Bhopal disaster 在短時間內造成超過數萬人死亡與 50 多萬人產生不可逆的健康傷害，後續的周邊社會與經濟影響更是難以估計 (Palazzi et al., 2015)；Flixborough disaster (Saleh et al., 2014) 不僅造成 28 人死亡，也令約 24 公頃的農作物和植被全部枯萎，代表著生態環境也蒙受重大打擊；另一個知名案例 BP Texas refinery explosion (Crawl and Louvar, 1990) 則造成 15 人死亡、180 人受傷，經濟損失預估可達數十億美元，間接顯示類似事故產生的連鎖效應可能持續衝擊企業財務、保險成本以及地區就業等面向。

為有效預防並抑制此類 PSM 事故所帶來的災害，美國職業安全與衛生署率先頒佈「高危害化學品製程安全管理法令」(Process safety management of highly hazardous chemicals.)，並要求企業對含高度危害化學品的製程執行系統性、整合式的管理。隨後，英國於 1999 年公布了「重大事故危害控制條例」(Control of Major Accident Hazards, COMAH)，新加坡則在 2017 年公佈「重大危害設施條例」(Major Hazard Installations, MHI)。至於臺灣方面，則在修訂職業安全衛生法時，明確參考美國 OSHA PSM 法條，並增訂製程安全評估定期實施辦法，逐步建立符合我國國情的製程安全管理體系。雖然這些法規的誕生與修正帶動了 PSM 事故發生率的下降，但整體社會對公共安全的要求也日趨嚴苛，故仍有進一步提升的空間。

在防範 PSM 事故的過程中，學者及業界長期關注造成災害的根本原因，

希望能更精準地找出優先管制的項目與風險因子。Crawl 等人在研究多起事故後指出，超過半數以上的事故起因與設備失效有直接關聯（Crawl and Louvar, 1990），ASME 的調查也得到相同結論（ASME., 2008）。英國的職安署及 CCPS 針對老舊工廠進行研究時亦發現，若設備完整性未被妥善維護，則是造成事故的關鍵原因（CCPS., 2018; IOGP., 2020）。根據 IOGP 在 2020 年依 API RP 754 製程安全績效指標，針對 2014 至 2020 年間全球 PSM 事故所做的調查結果，前十大關鍵致災因素有一半以上與設備完整性環環相扣（CCPS., 2016）。歸納諸多文獻可見，工廠內的安全關鍵設備（Safety Critical Element, SCE）若能被確實管理並確保功能正常，那麼發生大型災變的機率可望大幅降低。

在石化與化工生產系統中，固定設備往往是蘊藏重大危害的核心。此類設備常在高壓、高溫或具有毒性、可燃性的化學品環境下運轉；任何部件發生破裂或洩漏，都可能導致類似前述案例的巨大災害。然而，腐蝕與劣化在未發生明顯異常時難以被肉眼及日常巡檢辨識，因此必須透過檢測計畫（Inspection Plan）進行定期檢查，才能及早發現隱藏風險並採取修復措施。

另一方面，工廠內此類固定設備（含管線）數量龐大，若要對所有設備一視同仁地進行頻繁檢查，不但耗費大量人力與資本，也未必能帶來最理想的風險管控成果。必須有更系統化的方法，將資源投放在最需要或最具風險的設備上，才不會分散檢測能量，影響整體預防效能。

在實務上，API 581 現今已成為全球石化與化工領域最常用來評估固定設備破漏風險的規範與指引。此規範由美國石油協會在 1996 年首次發行，隨後不斷根據新知見與事故統計資料更新，至 2016 年已發展到第三版，並於 2019 與 2020 年間增訂若干勘誤檔，且在 2025 年發布第四版。風險基準檢查（Risk Based Inspection, RBI）是透過量化破漏的可能性以及後果的嚴重度，協助工程團隊制定固定設備的檢查與維護計畫，期能最大化降低設備破漏風險。在國內，RBI 作為危險性設備延長檢查週期的依據已被納入法規，2022 年工業局在林園績效指標中亦對此技術有明確要求，足見其在產業界具有極高實務價值。

然而，比較可惜的是，RBI 對破漏可能性的分析擁有相當完整且細緻的指引，包括腐蝕失效模式、損傷因子（Df）、設備使用年限與檢測策略對破漏機

率的影響等；但在後果評估（Consequence of Failure, CoF）方面，API 581 雖然提供計算公式與大致步驟，實際卻著墨不多。這很可能是由於 RBI 中的後果模型在多次改版後，並未大幅變動，加上目前市面上已出現不少後果分析工具（如：ALOHA、PHAST、SLAB...等），顯示基本理論確已成熟。然而，仍有學者發現 RBI 的後果評估在應用中可能存在偏保守或不精確的風險（陸彥儒、王振華，2023），從而導致風險結果出現誤判。

尤其在 RBI 過程中，後果分析同時分為 Level 1 與 Level 2 兩個層次，兩者皆聚焦於評估當設備或管線破漏後，對周遭環境與財務所造成的衝擊。但 Level 1 簡化了化學品物性參數，只使用「代表性流體」來進行估算，其優點在於所需資料量少、計算相對迅速；Level 2 則會考慮實際化學品的熱力性質、操作壓力、溫度，以及更細部的火災爆炸機率等因子，雖然精準度更高，但步驟較冗長且需要較多技術資源。就國內現況而言，缺乏文獻有系統地比較兩種後果評估方法在計算結果與分析邏輯上的差異，也尚無針對各種常見石化原料的大量測試案例。羅國禎（2018）在調查高雄大社工業區使用的 58 種化學品時發現，其中約有 46% 的化學品應以 Level 2 方式進行後果評估，顯示 Level 2 對多數實際化學品的準確度更高，也意味著傳統快速運算的 Level 1 有潛在低估或高估風險的可能性。

基於此，本文以 RBI 後果中 Level 1 列出的 18 種碳氫化合物為基礎，選取對應之實際化學品進行 Level 1 與 Level 2 的比較分析，藉由大規模與系統化的測試來呈現實際數據差異，並運用線性回歸圖形說明何種情況可能產生保守或低估，同時提出相關之管理建議，以強化設備管理在風險管控與資源分配上的效能。希望透過更深入的後果分析探討，協助各級工程或安全管理人員在實務應用 RBI 時能更精準地掌握風險，最終達到降低洩漏事故發生機率與減輕災害衝擊之效果。

二、RBI 方法概述

風險基準檢查（RBI）是一種系統化的評估方法，主要在衡量固定設備破漏的可能性以及由此引發之後果嚴重度，接著根據分析結果為設備排定檢查優先順序與檢測方式，期能在有限人力與資源下，有效降低設備意外破漏的風險。

由於固定設備往往承載高溫、高壓或高危害化學品，若發生洩漏，影響層面可能相當廣泛，故如何透過 RBI 提升檢查策略的精準度，一直是石化及化工廠維護與安全管理的重要議題。

在破漏可能性 (PoF) 部分，RBI 方法特別強調以下三大因素：

1. **管理修正因子 (FMS)**：主要透過檢視工廠的製程安全管理制度，包括組織架構、維護計畫、檢查紀錄、員工訓練及變更管理等面向，進行評分後作為破漏機率的修正。假如某工廠在檢測紀錄與預防保養上有完整流程或最佳實務，管理修正因子就可顯著降低設備的先天失效率；反之，若製程安全管理不到位，則失效率上升。
2. **同類失效率 (gff)**：各類型設備可能有其共通的失效機制與失效率範圍，例如：塔槽、反應器、熱交換器或管線等，都可能因設計型式、操作條件或材質而有不同的失效率值。RBI 會根據以往行業或設備資料庫的統計數據，給出一個「初始」或「平均」的破漏頻率。此統計可幫助工程師迅速鎖定哪幾種類型設備較容易出現破漏。
3. **損傷因子 (Df)**：針對設備的實際運行狀態，如腐蝕、應力開裂、疲勞或氫致開裂等狀況所做的評估指標。腐蝕速率、檢驗發現的劣化指標、歷史維護紀錄，皆可納入損傷因子的計算。損傷因子越高，代表設備在現行操作條件下存在更大破漏風險。

後果 (CoF) 部分，則著重於分析洩漏後可能衍生的情境，包括：

1. **火災與爆炸**：如池火、火球、噴射火焰、閃火、蒸氣雲爆炸 (VCE) 等，屬於最常見且破壞力極強的事故型態，一旦點火源與可燃氣體同時存在，極易造成大範圍傷害；
2. **毒化物擴散**：若洩漏化學品具有毒性，則還須考量外逸後在空間中的擴散路徑與濃度分布；
3. **非毒非燃事件**：包含液體沸騰膨脹蒸氣爆炸 (BLEVE)、物理爆炸以及酸鹼噴濺等。這些事件若未被正確評估，仍有可能造成環境與人員之傷害。

為因應實務需求，API 581 將後果分析分成 Level 1 與 Level 2 兩種方式：

1. Level 1：使用代表性流體與簡化模型估算危害影響的範圍，計算過程中採用了較多經驗公式，並假設洩漏化學品之性質可由一類代表性物質替代，故資料需求量較少，計算速度也較快；
2. Level 2：考慮實際化學品的物化參數，包括沸點、分子量、爆炸界限、燃燒熱、閃火點及洩漏相態等，更精細地模擬每種洩漏情境，因而能獲得更接近真實條件的後果評估結果，但同時也增加了方法的複雜度與資料取得難度。

整體風險則是將上述「破漏可能性」與「後果嚴重度」綜合判斷。API 581 中提供了不同的呈現方式，包括：

1. 風險矩陣（如圖 1），將 PoF 與 CoF 分別對應於橫軸與縱軸，並劃分高、中、低風險區間；
2. 柏拉圖（如圖 2），根據設備對整體風險貢獻度，由高到低排序，找出最需要優先管控的設備。

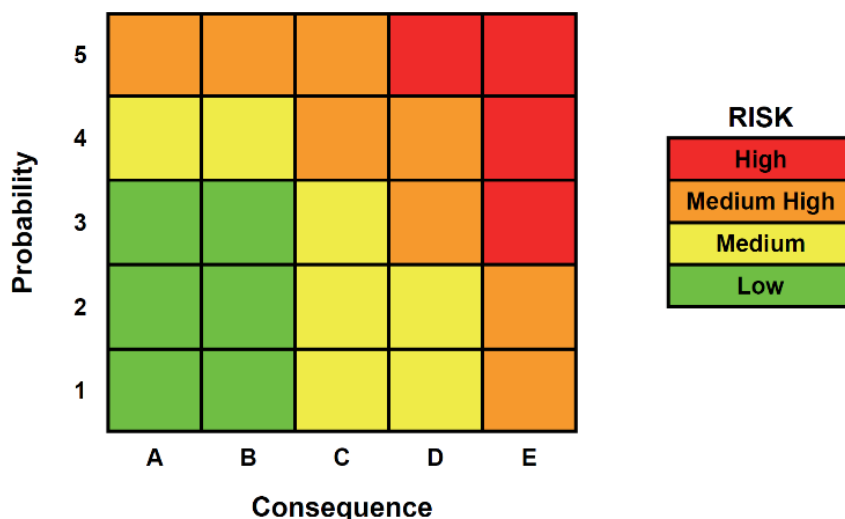


圖 1、風險矩陣（API，2025）

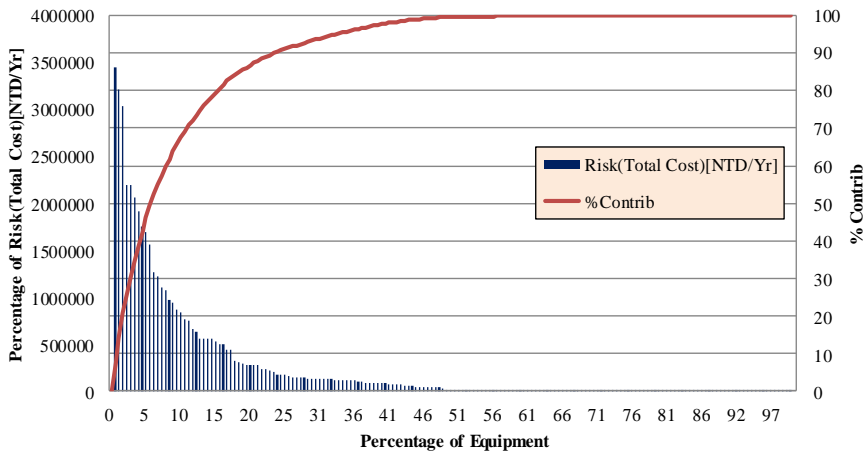


圖 2、柏拉圖（陸彥儒、王振華，2023）

值得注意的是，後果部分在確定了設備所承載的化學品、操作條件（溫度、壓力）及幾何尺寸後，就較不會因檢查策略的調整而產生改變；除非廠方對內容物比例或操作參數進行重大改變。也因此，檢查策略所能有效控制的多半是破漏可能性（PoF）。為了使檢查對破漏機率的降低更加量化，RBI 運用貝氏理論來將「檢查方案」轉化為修正概率，即原始的破漏機率被視為先驗機率，透過檢查方法、頻率、範圍等因素後得到後驗機率。詳細的數學推導則可參考 WRC 545（WRC., 2014），其中對減薄（thinning）類型缺陷導致的破漏概率有較清晰的算法和說明。

在實務中，企業若能依照 RBI 結論針對高風險設備加強檢測週期，或選擇更精密的無損檢測技術，再搭配優良的維護管理制度，即可在有限預算下優先管控最具風險的設備，提高整體設備完整性與安全水平。同時，若後續營運過程中有任何製程修改、料液轉換或操作參數調整，也應同步重新評估 PoF 與 CoF，確保 RBI 所訂定的檢查計畫能夠與最新的風險狀況保持一致。

三、RBI 後果 Level 1 與 Level 2 概述

RBI 的後果分析始於洩漏事件發生時，必須先評估設備破漏後可能導致的風險演進。這部分主要涵蓋三大領域：第一是火災爆炸相關後果，第二是毒化物外洩後果，第三則為非毒非燃後果；且每個領域皆要考慮四種不同破孔尺寸（小破孔、中破孔、大破孔與全破）帶來的差異。由於洩漏介質若以氣相、液

相或兩相形式釋放，事故展開模式會顯著不同，因此在分析時亦常借助事件樹方式來描繪洩漏可能的轉化路徑。透過這些步驟，就能建構一套從洩漏到最終結果的全貌。

在 Level 1 階段，後果評估主要採用簡化的經驗公式，並透過「代表性物質」的物化屬性推估實際洩漏後可能產生的影響範圍；另一方面，Level 2 則更進一步將各種後果類型細分為特定情境，包括閃火、火球、噴射火焰、池火與蒸氣雲爆炸（歸類為火災或爆炸事故）。最終需同時衡量影響面積與財務損失兩個核心面向，才能判定事故會對工廠及周邊造成多大衝擊。

火災爆炸類事件，如火球、噴射火焰、池火、閃火，主要依賴熱輻射造成殺傷或破壞；蒸氣雲爆炸則以過壓波為主要破壞機制。舉例來說，若外洩氣體可燃且遇到適合的點火源，閃火就可能沿著可燃氣團猛烈燃燒，需要透過氣雲擴散模型計算氣團可能波及範圍；另外，若是毒化物外洩，則需評估化學品濃度在空間散佈的情形，以判定接觸閾值或立即危害生命健康濃度（IDLH）距離。至於非毒非燃後果，如物理爆炸和 BLEVE，則主要評估破壓衝擊波的覆蓋範圍；酸鹼噴濺則須關注腐蝕性液體噴出後對人員或周邊設備造成的直接損害。整體分析流程可參見圖 3（羅國禎，2018；賴品秀，2016）。

為進一步量化這些可能後果，RBI 分別評估以下兩項指標：

1. 影響面積：定義該事故情境下多少範圍會受到危害或需疏散。
2. 財物損失：考量直接和間接損失，如人員傷亡、設備損壞維修、停工成本、環境恢復費用，以及其他間接損害（例如周邊公用系統故障或周遭設施連帶維修等）。

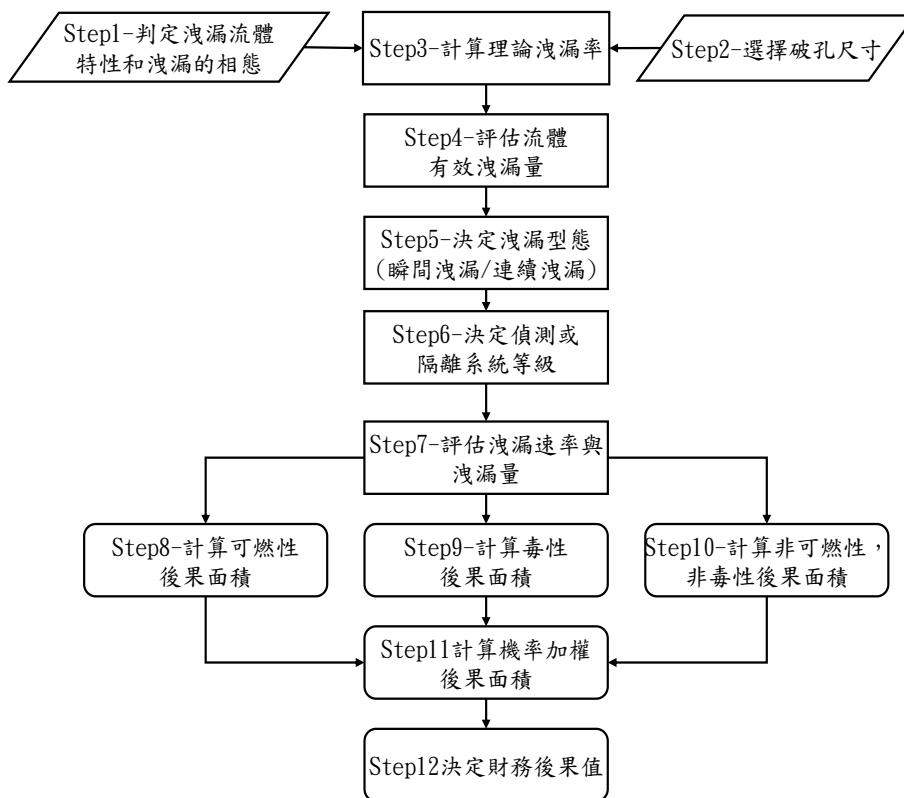


圖 3、後果執行流程圖（羅國禎，2018；賴品秀，2016）

3.1 RBI 後果 Level 1 概述

因完整後果評估包含多項複雜計算與參數收集，因此 API 581 提供了 Level 1 與 Level 2 兩種層級。當中，Level 1 應用大量簡化公式與對照圖表，協助評估人員用最少資料與時間來完成後果分析。然而，Level 1 分析存在若干侷限：

1. 代表性流體清單：必須符合 API 581 列示的碳氫化合物群組或毒性物質群組，並假定其平均或代表性物化參數（如分子量、沸點、密度、比熱、自燃點等），若實際化學品與標準差距較大，便可能導致結果出現高估或低估。
2. 忽略兩相態洩漏：不考慮某些較特殊的洩漏形態，如氣液混合噴射、雨除或冷卻驟沸等，這些實際工況在 Level 1 中無法直接覆蓋。
3. 事故類型有限：Level 1 僅針對 API 581 所示的某些特定事故類型，如蒸氣雲爆炸（VCE）或火災，可能缺少對其它潛在傷害模式的更

詳盡評估。

4. 點火機率設定固定：火災等事故的點火機率常設為固定常數，並不針對實際操作狀態或洩漏速率作彈性調整，可能導致分析失真。
5. 未納入外部連帶損害 (Collateral Damage)：假使化學品外洩後侵蝕儀表管線或造成電氣設備失效，引發額外事故，Level 1 並未顯示此種連帶效應。

由於這些限制，Level 1 雖具操作簡易、快速計算等優勢，仍需注意在某些情境下可能低估或高估風險，故應清楚了解該方法適用範圍。

四、RBI 後果 Level 2 概述

如果 Level 1 的方法無法充分代表設備實際狀況，或化學品性質與操作條件特殊，便需要採用 Level 2 的後果分析。Level 2 相較之下更完整且更貼近真實，它能夠彌補 Level 1 的限制，因為在計算過程中，評估人員可自行輸入確切的物化參數並執行更深入的事故類型分析，包括更精細的燃燒或爆炸動力學。例如：必須了解化學品的爆炸界限 (LEL、UEL)、燃燒熱、相變化溫度、操作壓力與溫度等，方能在火災與爆炸模型中得到合理結果。對於那些屬於兩相態或高黏度液體的情境，也可透過自訂模式或外部工具 (如 SLAB、DEGADIS、PHAST) 進行模擬。

值得注意的是，Level 2 的執行需要更多維度的數據作支撐，涵蓋物化特性、設備幾何外形、操作壓力與溫度、洩漏流量等，加上可能必須驗證模型或使用額外軟體，導致在資料收集、人員專業與計算資源等層面都需要更高投入。尤其在石化生產環境中，管線與設備種類多樣，隨時可能改變配方或操作條件，因此要保持 Level 2 分析結果的時效性，需要較大規模的管理與維護。反過來看，若廠內化學品種類繁多或製程變化頻密，Level 2 所能帶來的精準分析對風險控制的助益也相當顯著，故常被應用於重要高風險單元或重大專案的新設計階段。

透過 Level 2 分析所得的更精細參數，RBI 團隊能對不同洩漏規模與事故型態做情境模擬，準確地預估最不利狀況下可能的受影響區域、受害物種或設

備損毀範圍，進而提出更具針對性的防範與應急對策，包括評估消防水或泡沫系統配置、個人防護裝備需求，以及若出現大面積閃火或有毒氣雲時的避難路線規劃等等。因此，雖然 Level 2 在資源需求上較大，卻能提供更接近實際的後果分析，有效協助管理者在資源配置與檢測計畫做出更精準決策。

五、比較 RBI Level 1 及 Level 2 之後果保守性差異

本研究以一條長度 1 公里、碳鋼材質的管線 (25kg/cm²g @25oC) 作為評估基礎，分別在 Level 1 和 Level 2 的模式下進行後果分析，目的在於探討不同等級評估法可能產生之差異與潛在影響。該過程係要避免多種設備串連後，物流迴路，影響分析結果。所考慮的變因包含：化學品種類 (共 20 種)、管線規格 (4 種尺寸) 以及破孔尺寸 (4 種尺度)，組合後共計 320 個分析案例。所有計算結果及詳細對照數據均彙整於表 1。

表 1 提供主要分析結果的彙整，當中第一行展示了參考的化學品類別，第二行則對應 RBI Level 1 所使用的「代表性流體」，第三行表示管線口徑，接下來的後續數值分別為四種破孔情況下的後果影響面積。由於研究關注的核心是火災或爆炸型事故，故表中呈現的多為能量釋放所產生之影響範圍。一開始便能從圖 4 及表 1 觀察到，有些化學品在 Level 1 計算之後果面積遠低於 Level 2，代表若僅依賴 Level 1 進行後果分析，容易出現風險低估，進而導致後續在檢測與維護計畫上出現疏漏。

在更深入比較圖 4 時可發現，若是低碳數化合物(例如 C1-C2、C3-C4 類)，Level 1 評估常呈現大於 Level 2 的結果，顯示此時 Level 1 較為「保守」；反之，碳數較高時(如 C6-C8 或更高)，狀況卻可能逆轉為 Level 1 顯著小於 Level 2，形成對風險的潛在低估。值得特別留意的是，像氫氣 (H₂) 這類性質獨特的氣體，其 Level 1 計算值顯著低於 Level 2，由此可見在面對易燃、擴散速度快、爆炸範圍廣等特性的氣體時，若仍使用 Level 1 簡化法，往往會遠遠低估實際事故影響規模。這對工廠安全管理而言是極危險的，可能導致錯誤的檢驗間隔或錯誤的維護重點設定。

另外，從圖 4 及表 1 的綜合比較還能看出，化學品的相態與操作條件(例

如：相對密度、沸點、閃火點，以及管線壓力與溫度）對後果面積之差異影響甚大。倘若化學品性質與 RBI Level 1 設定的「代表性流體」存在顯著偏差，便可能產生誤判。如同在多種戊烷、己烷或芳香烴類的計算中，有些管線規格和破孔情境下的結果，Level 1 之面積數值甚至僅為 Level 2 的一半或更低；反之，在某些低碳數物料案例中，Level 1 可能又比 Level 2 大幅高估。這種「一刀切」的簡化雖在計算上便利，但實際風險掌握就容易被稀釋或放大。

基於代表性流體下RBI後果L1與L2面積比較圖

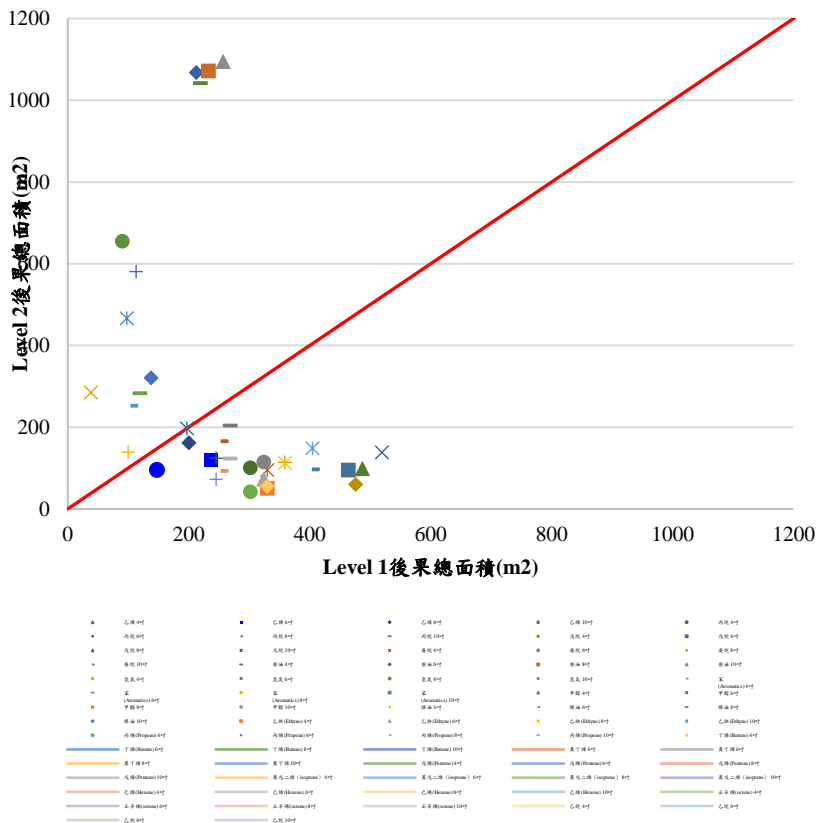


圖 4、各類化學品於不同尺寸下的 Level 1 與 Level 2 後果面積結果分布圖

表 1、各類化學品於不同尺寸下的 Level 1 與 Level 2 後果面積彙整表

化學品	代表性流體	計算結果(可燃後果面積,m2)										
		尺寸(mm)	L1 計算					L2 計算				
			小	中	大	全破	all	小	中	大	全破	all
乙烯	C1-C2	101.6(4 吋)	2.6535	86.8157	0	1064.369	147.88	42.861	104.72	0	184.82	95.353
		152.4(6 吋)	2.6535	131.638	1767.89	1767.89	236.94	15.999	136.5	334.56	315.8	120.22
		203.2(8 吋)	2.6535	131.638	1338.449	1338.428	200.46	36.466	370.59	1164.3	861.64	162.48
		254(10 吋)	2.6535	131.638	1303.018	1303.021	197.45	15.997	207.44	704.23	585.17	197.27
丙烷	C3-C4	101.6(4 吋)	4.5342	210.955	0	1917.052	301.951	42.013	114.04	0	185.84	101.31
		152.4(6 吋)	4.5342	182.666	1466.83	1466.829	245.24	16.36	143.69	347.28	310.38	124.56
		203.2(8 吋)	4.5342	182.666	1556.32	1556.331	253.82	16.36	174.83	597.29	436.03	166.14

化學品	代表性流體	計算結果(可燃後果面積,m2)											
		尺寸(mm)	L1 計算				L2 計算						
			小	中	大	全破	all	小	中	大	全破	all	
		254(10吋)	4.5342	182.666	1741.963	1741.975	268.585	16.36	209.89	790.8	574.28	204.4	
		101.6(4吋)	102.42	645.882	0	320.1679	476.126	40.531	53.77	0	170.5	60.227	
戊烷	C5	152.4(6吋)	102.42	630.735	293.7623	293.7623	463.98	40.531	78.443	50.315	395.19	95.44	
		203.2(8吋)	102.42	659.908	344.6739	344.6739	487.38	40.531	104.36	72.431	778.19	98.8	
		254(10吋)	102.42	699.898	414.4595	414.4595	519.442	40.531	133.53	203.9	1387.8	138.41	
		101.6(4吋)	49.875	430.279	0	419.1993	329.886	107.28	74.05	0	220.74	95.201	
庚烷	C6-C8	152.4(6吋)	49.875	409.263	512.4278	512.4278	324.07	107.28	79.327	50.609	416.35	115.27	
		203.2(8吋)	49.875	446.575	636.1097	636.1097	358.97	107.28	102.84	72.854	724.32	114.23	
		254(10吋)	49.875	497.629	779.2193	779.2193	404.50	107.28	154.29	154.78	1192.7	97.034	
		101.6(4吋)	35.833	285.101	0	280.6586	219.56	797.53	1256.8	24.166	150.12	1042.7	
柴油	C9-C12	152.4(6吋)	35.833	276.344	266.5692	266.5692	212.63	797.53	1278.4	48.332	286.4	1068.4	
		203.2(8吋)	35.833	300.427	305.3575	305.3575	232.67	797.53	1301	69.576	470.18	1072.6	
		254(10吋)	35.833	332.662	357.2733	357.2733	257.151	797.53	1326.5	93.482	701.58	1095.3	
		101.6(4吋)	0.7908	20.1336	0	292.7822	38.2428	117.78	322.34	0	513.4	285.09	
氫氣	H2	152.4(6吋)	0.7908	29.2851	455.3245	920.6186	97.57	45.582	524.88	1833.8	1314.9	466.69	
		203.2(8吋)	0.7908	29.2851	622.175	1554.461	90.49	45.582	668.31	2608.5	1863.9	655.76	
		254(10吋)	0.7908	29.2851	808.8774	2083.967	113.077	45.582	599.28	2237.3	1601	581.22	
		101.6(4吋)	2030.1	35499.1	0	59012.7	28746.9	33.877	46.158	0	235.58	59.042	
苯 (Aromatics)	Aromatics	152.4(6吋)	2030.1	39388.4	65504.96	65504.96	31840.6	33.877	72.747	48.971	397.22	90.155	
		203.2(8吋)	2030.1	50934.7	84769.25	84769.25	41024	33.877	102.99	111.47	576.56	94.759	
		254(10吋)	2030.1	65935.8	109797.5	109797.5	52955.3	33.877	120.63	155.84	771.74	113.02	
		101.6(4吋)	373.59	2017.33	0	603.4854	1467.46	13.528	73.118	0	578.83	100.51	
甲醇	Methanol	152.4(6吋)	373.59	2063.92	675.3381	675.3381	1504.02	13.528	87.432	30.996	1319.2	172.77	
		203.2(8吋)	373.59	2301.35	1060.587	1060.587	1691.94	13.528	102.47	524.52	2274.6	149.39	
		254(10吋)	373.59	2174.76	846.2388	846.2388	1590.99	13.528	119.39	539.85	3543.3	186.33	
		101.6(4吋)	17.101	130.482	0	121.1712	100.049	36.015	164.68	0	262.68	139.37	
煤油	C13-C16	152.4(6吋)	17.101	136.166	130.1465	130.1465	104.527	36.015	313.7	48.511	458.14	253.38	
		203.2(8吋)	17.101	155.245	160.2551	160.2551	119.555	36.015	336.65	624.15	682.99	283.64	
		254(10吋)	17.101	178.732	198.4079	198.4079	138.147	36.015	362.48	857.5	939.57	320.8	
		101.6(4吋)	49.875	430.279	0	419.1993	329.886	35.442	39.681	0	189.2	51.277	
乙炔(Ethyne)	C1-C2	152.4(6吋)	49.875	409.263	512.4278	512.4278	324.07	11.223	65.753	382.19	317.65	72.9	
		203.2(8吋)	49.875	446.575	636.1097	636.1097	358.97	11.174	92.594	620.88	449.78	112.84	
		254(10吋)	49.875	497.629	779.2193	779.2193	404.50	11.174	123.1	821.27	597.02	148.76	
		101.6(4吋)	4.5342	210.955	0	1917.052	301.951	32.897	34.54	0	134.37	42.593	
丙烯(Propene)	C3-C4	152.4(6吋)	4.5342	182.666	1466.83	1466.829	245.24	56.544	59.128	252.88	228.91	72.878	
		203.2(8吋)	4.5342	182.666	1556.32	1556.331	253.82	10.213	84.959	437.45	328.08	93.223	
		254(10吋)	4.5342	182.666	1741.963	1741.975	268.585	10.213	114.03	579.1	439.76	123.67	
		101.6(4吋)	49.875	430.279	0	419.1993	329.886	33.871	51.903	0	146.89	55.259	
丁烯(Butene)	C3-C4	152.4(6吋)	49.875	409.263	512.4278	512.4278	324.07	11.319	76.878	294.5	252.87	74.692	
		203.2(8吋)	49.875	446.575	636.1097	636.1097	358.97	11.319	103.12	500.05	365.24	110.2	
		254(10吋)	49.875	497.629	779.2193	779.2193	404.50	11.319	132.64	661.47	485.18	142.4	
		101.6(4吋)	49.875	430.279	0	419.1993	329.886	33.724	45.713	0	141.09	50.683	
異丁烯	C3-C4	152.4(6吋)	49.875	409.263	512.4278	512.4278	324.07	10.951	71.057	265.08	244.44	70.075	
		203.2(8吋)	49.875	446.575	636.1097	636.1097	358.97	10.951	97.683	460.84	354.65	103.78	
		254(10吋)	49.875	497.629	779.2193	779.2193	404.50	10.951	127.64	610.09	480.41	135.58	
		101.6(4吋)	102.42	645.882	0	320.1679	476.126	64.454	66.554	0	442.6	97.956	
戊烯(Pentene)	C5	152.4(6吋)	102.42	630.735	293.7623	293.7623	463.98	64.454	89.75	2131.1	887.08	150.88	
		203.2(8吋)	102.42	659.908	344.6739	344.6739	487.38	64.454	114.12	2153.2	976.19	251.31	
		254(10吋)	102.42	699.898	414.4595	414.4595	519.442	64.454	141.54	2177.9	1710.8	285.26	
		101.6(4吋)	102.42	645.882	0	320.1679	476.126	70.123	75.605	0	3329.1	350.61	
異戊二烯 (isoprene)	C5	152.4(6吋)	102.42	630.735	293.7623	293.7623	463.98	70.123	97.512	48.333	4709.3	482.21	
		203.2(8吋)	102.42	659.908	344.6739	344.6739	487.38	70.123	120.53	3009.2	4595.6	383.89	
		254(10吋)	102.42	699.898	414.4595	414.4595	519.442	70.123	146.42	3033.1	2270.8	356.8	
		101.6(4吋)	49.875	430.279	0	419.1993	329.886	69.014	302.48	0	3363.3	501.51	
己烯(Hexene)	C6-C8	152.4(6吋)	49.875	409.263	512.4278	512.4278	324.07	69.014	307.93	3027.5	4814.4	628.37	
		203.2(8吋)	49.875	446.575	636.1097	636.1097	358.97	69.014	332.19	3050.1	4880.9	530.22	
		254(10吋)	49.875	497.629	779.2193	779.2193	404.50	69.014	282.09	3133.2	2360.6	453.49	
		101.6(4吋)	49.875	430.279	0	419.1993	329.886	57.791	261.52	244.14	3457.5	479.81	
正辛烯(octene)	C6-C8	152.4(6吋)	49.875	409.263	512.4278	512.4278	324.07	57.791	285.69	48.958	5588.7	676.69	
		203.2(8吋)	49.875	446.575	636.1097	636.1097	358.97	57.791	308.4	3100.8	7472.2	565.86	
		254(10吋)	49.875	497.629	779.2193	779.2193	404.50	57.791	261.52	3180.1	8924.7	568.88	
		101.6(4吋)	2.6535	86.8157	0	1064.369	147.88	48.934	136.91	0	200.31	119.29	
乙烷	C1-C2	152.4(6吋)	2.6535	131.638	1767.89	1767.89	236.94	18.828	174.05	424.72	332.81	146.96	
		203.2(8吋)	2.6535	131.638	1338.449	1338.428	200.46	18.828	213.08	744.55	468.11	202.03	
		254(10吋)	2.6535	131.638	1303.018	1303.021	197.45	18.828	256.99	986.2	617.15	249.45	

綜言之，當化學品類型或操作條件較為單純（如碳數接近 RBI 代表性流體、壓力溫度落在中間區間），Level 1 的快速評估可能尚能滿足基本需求；

然而在面對大量或特殊化學品、操作環境多變，或對風險分析精準度要求較高時，僅憑 Level 1 簡化模型往往不足，且可能導致明顯的高估或低估。若管線或設備潛在風險被誤判，就會牽動後續檢查週期、檢測方式、維修資源配置等策略，最終帶來安全隱憂或不必要成本。

因此，當企業針對高風險區域、使用高碳數或特殊氣體（如氫氣）等化學品時，若能善用 Level 2 較為完整的分析，將有助於更精確地掌握事故的波及範圍。透過 Level 2，也可更靈活地納入實際操作條件、設備材質及兩相態效應等因素，讓檢查計畫與風險管理更符合實務狀況，使設備維護能夠更有效地預防重大事故。

六、結論

風險基準檢查（RBI）著眼於評估設備破漏的整體風險，並據此規劃相應的檢查計畫，以最終降低洩漏事故的發生機率。若後果分析帶有不恰當的保守性，可能使後續檢測安排未能真正反映設備的實際風險狀況。另一方面，目前國內針對後果分析在實務應用上所面臨的問題探討並不多。基於此，本文透過質性比較與案例對照，討論兩種後果分析方法在步驟、結果與影響層面的差異，並提出具體建議以協助工廠更有效管理設備。

然而，若要在 RBI 中採用 Level 2 後果分析，最大的挑戰在於資料需求量相對龐大，特別是化學品各項物性的收集。建議業者在規劃製程安全管理時，同步建立或整合化學品相關資訊。另當工廠內化學品或操作條件有變動時，亦應儘速對 RBI 結果進行更新，以確保所制定的檢查計畫能與最新腐蝕及劣化機制相符。透過此一動態調整過程，才能真正發揮 RBI 在安全管控上的效益。

參考文獻

- API RP 581 (2025). Risk-Based Inspection Methodology, 4th.
- ASME. (2008). ASME PCC-3-2007: Inspection Planning Using Risk-Based Methods. Printed in U.S.A.
- CCPS. (2016). Guidelines for Asset Integrity Management. Wiley-AIChE.
- CCPS. (2018). Dealing with Aging Process Facilities and Infrastructure. Wiley-

AIChE.

Crawl, D. A. and J. F. Louvar (1990). *Chemical Process Safety: Fundamentals with Application*. New Jersey: Prentice 5.20: 1

IOGP. (2020). IOGP Safety performance indicators - Process safety events - 2020 data. [online] <https://www.iogp.org/bookstore/product/iogp-safety-performance-indicators-process-safety-events-2020-data/> (Accessed 26 April 2024)

Palazzi, E., F. Currò & B. Fabiano (2015). A critical approach to safety equipment and emergency time evaluation based on actual information from the Bhopal gas tragedy. *Process safety and environmental protection*, 97, 37-48.

Saleh, J. H., R. A. Haga, F. M. Favarò & E. Bakolas (2014). Texas City refinery accident: Case study in breakdown of defense-in-depth and violation of the safety–diagnosability principle in design. *Engineering Failure Analysis*, 36, 121-133.

Sklet, S. (2006). Safety barriers: Definition, classification, and performance. *Journal of loss prevention in the process industries*, 19(5), 494-506.

WRC. (2014). Improvements in the Thinning Damage Factor Calculation Planned for the 3rd Edition of API RP 581.

陸彥儒、王振華 (2023)。談後果分析於風險基準檢查的技術問題。中華產業機械設備協會年刊。

賴品秀 (2016)。風險基準檢查於石化廠應用及參數影響性分析。國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士班碩士論文。

羅國禎 (2018)。應用 API 581 Level 2 指引於設備洩漏後果分析之研究。國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系碩士班碩士論文。

小孩肚子不舒服？從溢奶到便秘的兒童消化指南

Understanding Digestive Disorders in Children: A Parent's Guide from Spitting Up to Constipation

蔡璟忠醫師

義大醫院兒童醫學部部長¹

聯絡作者：ed102514@edah.org.tw

一、前言

迎接一個新生命到家庭是無比喜悅的事，但隨之而來的各種「突發狀況」也讓新手爸媽們措手不及。寶寶喝完奶突然大吐一場、半夜換尿布時發現「爆炸便便」、孩子哭喊肚子痛……這些時刻讓父母既困惑又心疼。別擔心，這些情況在兒童時期相當常見，因為幼兒的消化系統尚未發育完全，比成人更加嬌嫩，對飲食改變或環境病菌特別敏感。

二、當寶寶變身「小奶泉」——溢奶與胃食道逆流

剛吃完的奶又吐了出來，這讓父母感到挫折，但對嬰兒而言，這卻是再正常不過的事。統計顯示，高達 85% 的嬰兒在出生後 2 個月大時每天都會溢奶！這是因為寶寶的胃和食道結構尚未成熟，胃口的「蓋子」（賁門括約肌）關不緊，再加上胃容量小且排空慢，所以奶水很容易在打嗝、哭鬧或改變姿勢時流出來。

我喜歡把嬰兒的胃比喻成一個沒有蓋子的杯子——你灌得太滿，它自然會溢出來！好消息是，大多數情況下，溢奶並不影響健康，是屬於生理性的現象。只要寶寶體重持續增加、精神狀態良好，就不需太擔心。

如何應對？餵奶後別急著讓寶寶平躺，可以讓他保持直立姿勢靠在您肩上 20-30 分鐘，利用地心引力幫助食物往下走。餵完奶後記得拍嗝（輕拍背部協助排氣），避免餵食過量，寧可少量多餐。隨著月齡增加，多數寶寶的溢奶情況會自然改善，到約一歲時絕大多數孩子會自動「畢業」，不再當小奶泉了。

¹ 通訊地址：高雄市燕巢區義大路 1 號 07-6150011#2982

三、「黃金風暴」——幼兒腹瀉與腸胃炎

當寶寶開始拉肚子，家長們常戲稱上演「黃金風暴」。腹瀉也是兒童常見問題之一，尤其當孩子開始到公共場所或托嬰中心後，更容易受到病毒或細菌感染而出現腸胃炎症狀。

小兒腹瀉最常見的原因是感染，特別是病毒性腸胃炎。這些感染通常是經由不乾淨的飲食或接觸傳播，好發於秋冬季節或開學時期。輪狀病毒腸炎好發於6個月至2歲幼童，典型症狀是先連續嘔吐幾次，接著開始發燒、精神不佳，隨後出現頻繁水樣腹瀉；而諾羅病毒則全年都可能發生，嘔吐非常劇烈，常在幼兒園或家庭中造成群聚感染。

這裡要澄清一個常見誤解：「腸病毒感染」不等於「腸胃炎」。腸病毒是指一大類經腸道傳播的病毒，包括引起手足口病、疱疹性咽峽炎的病毒。典型症狀是發燒、口腔潰瘍、手腳起疱疹，反而不以腸胃症狀為主。

面對腹瀉，照護重點不是止瀉，而是預防脫水！這是因為腹瀉是身體排除腸道內病原或毒素的保護性機制，貿然使用止瀉藥可能讓有害物質滯留體內。家長應幫孩子補充流失的水分與電解質，可使用市售的兒童口服電解質液（ORS），依說明少量頻飲。如果家中沒有電解質液，亦可給寶寶喝米湯、稀釋的果汁、清淡湯品等。不需要讓孩子完全禁食，可以少量多餐吃些清淡易消化的食物，例如稀飯、麵條、吐司、蘋果泥、香蕉等「BRAT 飲食」（香蕉、米飯、蘋果泥、吐司）。

四、「嗯嗯大作戰」——兒童便秘

當寶寶努力「嗯嗯」卻拉不出來，或拉出來的是又乾又硬的「石頭便便」時，家長難免跟著焦急上火。便秘在兒童中也很常見，尤其出現在轉奶、添加副食品或如廁訓練等階段。

絕大多數小孩的便秘屬於功能性，也就是沒有明顯身體器官的毛病，只是腸胃蠕動比較慢或排便習慣不佳所致。常見誘因包括：飲食纖維不足（愛吃肉不愛菜、水果），水分攝取不足，以及忍便習慣（有些小朋友玩心重或害怕上廁所而憋便）。當孩子長期忍便，糞便在腸道越積越乾硬，排出時疼痛又加深

他對排便的恐懼，形成惡性循環。

對付小兒便秘的基本之道是「多水、多纖維、勤活動、養成定時排便習慣」。飲食上，多給孩子吃富含膳食纖維的蔬菜水果，例如番薯、地瓜葉、木瓜、奇異果等都是天然腸胃清道夫。台灣民間常用的紅龍果也是小兒順暢秘方，但要留意吃多了大便會變紅色別誤以為出血哦！黑棗汁因富含纖維及天然山梨醇，有「自然軟便劑」之稱，是改善寶寶便秘的好幫手。

此外，若因長期便秘造成排便疼痛，可能會形成肛裂(解便時肛門撕裂傷)，導致便便帶血或孩子哭鬧抗拒排便。這時可以嘗試讓孩子溫水坐浴、使用凡士林或醫師開立的軟便藥與藥膏，協助減輕疼痛與促進癒合。

對於已經訓練如廁的幼兒，可以固定每天排便時間，例如早餐後或晚餐後安排坐馬桶 5-10 分鐘，養成定時如廁的習慣。排便時保持輕鬆，千萬別在孩子便秘時責罵，反而可以獎勵每次成功便便。我知道有些父母會面臨「馬桶大戰」，孩子死活不願坐上去！試試看轉移注意力，例如讓他坐馬桶時聽故事或玩簡單的遊戲，讓排便成為一種放鬆的體驗而非壓力。

五、新生兒黃疸與膽汁滯留

新生兒在出生後 2-3 天開始出現皮膚發黃，是俗稱的「黃疸」。大部分嬰兒的生理性黃疸在生後一週左右達高峰，兩週內會退去。然而，若黃疸持續超過 2 週仍未消退，醫師會特別關注其中是否存在膽汁滯留的問題。

家長在家可以留意一個簡單但關鍵的線索：寶寶大便顏色。正常新生兒的大便(尤其是餵母乳者)應該是金黃色或芥末黃色；若發現孩子的大便顏色日漸變淡、呈現灰白色陶土狀，就相當可疑是膽汁排不出去的表現。這時寶寶的皮膚、眼白會持續黃染，甚至出現深茶色尿液。

最值得警覺的是膽道閉鎖症。患嬰的肝外膽管在出生後逐漸發炎纖維化，導致膽汁無法排出肝臟。一旦確診，需儘速進行葛西氏手術，而手術時機攸關預後：在 2 個月大以內動手術的成功率可達約 80-90%，拖到 3 個月大以後則驟降到 20% 以下。因此，超過兩週的黃疸務必就醫檢查，千萬別存僥倖心理拖延。

除了膽道閉鎖，其他造成膽汁滯留的原因還包括肝內膽管發育不良（如 Alagille 症候群）、感染性肝炎（如先天 CMV 或敗血症）、或代謝性疾病（如半乳糖血症、甲基丙二酸尿症等）。這些情況多需要血液、影像與遺傳代謝學檢查來釐清原因。

六、認識危險信號，何時該就醫？

雖然大多數兒童消化問題都是暫時性的，但有些情況需要及時就醫：

6.1 嘔吐需警覺的情況：

- 頻繁噴射狀嘔吐：尤其是 1-2 個月大嬰兒，每次餵奶都劇烈嘔吐，體重無法增加
- 嘔吐物有膽汁（綠色）或血：代表可能有腸道阻塞或出血
- 持續腹痛或腸阻塞跡象：伴隨劇烈持續的腹痛、腹脹
- 明顯脫水或意識改變：嗜睡甚至意識不清

6.2 腹瀉需就醫的情況：

- 脫水跡象明顯：精神不濟、眼眶凹、皮膚乾燥、尿量減少
- 糞便帶血或黏液膿：表示腸道受到嚴重發炎侵襲
- 高燒不退或持續腹痛：尤其是右下腹壓痛，需警覺闌尾炎

七、輕鬆面對，從容成長

孩子的腸胃就像他們的人生初期一樣，嬌嫩而多變。在養育寶寶的過程中，難免要與各種「上吐下瀉」打交道。但請記住，多數「吃喝拉撒」的問題都是暫時的，會隨著孩子成長而改善。保持耐心和幽默感也很重要：有時面對寶寶奶噴老爸一身、或是追著滿屋跑的小屁孩乞求他坐馬桶，笑一笑、深呼吸，然後冷靜應對。

預防勝於治療，平時培養孩子良好的衛生習慣：飯前便後勤洗手，避免將不潔物入口。對於嬰兒，輪狀病毒疫苗可大幅降低罹患重症腹瀉的風險，值得

考慮接種。遇到問題，家長不需自責，只要願意學習與尋求協助，每一次育兒挑戰都將讓你更成熟、更有自信。

隨著孩子漸漸長大，這些腸胃小毛病會成為過去。取而代之的，將是更大的胃口和更多樣化的食物挑戰。願每位家長都能陪伴孩子順利度過腸胃關卡，看著寶貝健康茁壯，笑對未來的每一道成長風景！

表 1、兒童常見消化問題一覽表

症狀名稱	可能原因	居家處理方式	何時就醫
嘔吐	腸胃炎、餵食過多、幽門狹窄、腦壓上升等	少量多次補水、暫緩進食、避免平躺	噴射狀嘔吐、有膽汁或血、持續性腹痛或脫水徵象
腹瀉	病毒性腸胃炎、細菌感染、乳糖不耐、食物中毒	電解質補充、清淡飲食、避免油炸或高糖食物	有血便、高燒、明顯脫水、活動力差或意識改變
胃食道逆流（溢奶）	新生兒括約肌未成熟、餵食過多	少量多餐、餵後拍嗝、頭部抬高 20 分鐘	體重未增加、嚴重吐奶、呼吸中止、吐出膽汁
便秘	飲食纖維不足、排便習慣不佳、功能性便秘、先天腸道異常	增加水分與纖維、養成定時排便習慣、黑棗汁或輕瀉劑（依醫囑）	血便、嚴重腹脹、出生 48 小時無排胎便、懷疑巨結腸症
腸胃炎	輪狀病毒、諾羅病毒等感染	補充水分、口服電解質液、避免共食共飲	嘔吐腹瀉嚴重、脫水、合併抽搐或休克症狀
延遲性黃疸	膽汁滯留、膽道閉鎖、肝炎、新陳代謝異常	無特效居家處理，需醫療評估	黃疸超過 2 週、大便變灰白、尿色變深、食慾差、體重未增加

參考文獻

- Benninga M. A., C. Faure, P. E. Hyman, I. St James Roberts, N. L. Schechter, S. Nurko. (2016). Childhood functional gastrointestinal disorders: neonate/toddler. *Gastroenterology*. 150(6):1443–1455.e2.
- CDC. (2021). Chapter 19: Rotavirus. In: *Epidemiology and Prevention of Vaccine-Preventable Diseases (The Pink Book)*. 14th ed. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention.
- Guarino A., S. Ashkenazi, D. Gendrel, J. H. Hoekstra, R. Shamir, H. Szajewska, et al. (2008). European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition/European Society for Paediatric Infectious Diseases evidence-based guidelines for the management of acute gastroenteritis in children in Europe. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.*; 46 (Suppl 2): S81–S122.
- Husby S., S. Koletzko, I. R. Korponay-Szabó, K. Kurppa, M. L. Mearin, C. Ribes-Koninckx et al. (2020). European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology, and Nutrition guidelines for diagnosing coeliac disease 2020. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 70(1):141–156.
- Mearin M. L., D. Agardh, A. Al-Toma et al. (2012). ESPGHAN guidelines for the diagnosis of coeliac disease in children and adolescents: an update. *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 54(1):136–160.
- Papadopoulou A., S. Koletzko, R. Heuschkel, J. A. Dias, J. Amil-Dias et al. (2024). Diagnosis and management of eosinophilic esophagitis in children: an update from the European Society for Paediatric Gastroenterology, Hepatology and Nutrition (ESPGHAN). *J Pediatr Gastroenterol Nutr.* 76(2):191–198.
- Szajewska H., A. Horvath, S. Koletzko. (2001). Effect of *Lactobacillus rhamnosus* GG in the prevention of nosocomial diarrhea in children: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *J Pediatr.* 138(3):361–365.
- Vandenplas Y., P. Alarcon, P. Alliet, E. De Greef, T. Devreker, B. Hauser et al. (2014). An ESPGHAN position paper on the diagnosis, management, and prevention of functional constipation in infants and children. *J Pediatr*

Gastroenterol Nutr. 58(2):258–274.

WHO. (2023). World Health Organization. Diarrhoeal disease. Fact sheet. [Online]

Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/diarrhoeal-disease>

Wyllie R., J.S. Hyams, M. Kay (2020). *Pediatric Gastrointestinal and Liver Disease*. 6th ed. Philadelphia: Elsevier.

中年大叔注意！想跟攝護腺肥大說掰掰？這些生活習慣是關鍵！

Want to beat prostate problems? These daily habits are your game-changer!

黃景榆醫師

義大大昌醫院泌尿科主任

聯絡作者：ed102747@edah.org.tw

一、前言

隨著年齡增長，身體難免會出現一些變化。其中一個嚴重影響生活品質的問題，就是攝護腺肥大（Benign Prostatic Hyperplasia, BPH）及伴隨的下泌尿道症狀（Lower Urinary Tract Symptoms, LUTS）。您可能開始發現自己有頻尿、夜尿、排尿困難等狀況，這些都是 LUTS 的表現。BPH 非常普遍，根據統計，大約 40 歲的男性中有 8% 會有 BPH，到了 90 歲時，這個比例可能高達 90%。嚴重的 BPH 可能會導致尿滯留、腎功能不全甚至腎衰竭等併發症。

更有趣的是，攝護腺問題（LUTS/BPH）常常跟男性勃起功能障礙（Erectile Dysfunction, ED）如影隨形。雖然這兩者沒有因果關係，但是約 70% 有 LUTS/BPH 的男性同時存在 ED。這兩種狀況的盛行率都隨著年齡增加。幸運的是，除了年齡和基因這些我們無法改變的因素，許多「生活習慣」對於攝護腺的健康扮演著重要的角色。一項採用孟德爾隨機化（Mendelian Randomization, MR）推斷因果關係的研究方法發現，某些生活因素確實對 BPH 有因果關聯（Wang et al., 2022）。

二、哪些生活習慣可能會成為您攝護腺健康的幫兇，哪些又是救星呢？

2.1 讓攝護腺「壓力山大」的習慣

1. 「游泳圈」越大，風險越高：肥胖，尤其是腰圍！多項研究一致顯示，

肥胖與攝護腺體積增大、發生症狀性 BPH 和 LUTS 的風險增加有關。這裡說的肥胖不僅包括體重過重和 BMI（身體質量指數）過高，腰圍過大更是個關鍵指標。一項研究指出，BMI 每增加 1 kg/m²，攝護腺體積會增加約 0.41 cc。另一項針對攝護腺切除標本的研究發現，BMI 每增加 1 kg/m²，攝護腺總重量增加約 0.45 克，肥胖男性（BMI ≥ 35）相比非肥胖男性（BMI < 25），攝護腺增大風險增加 70%。而最新的 MR 研究提供了更強的證據，它支持高腰圍和高 BMI 與 BPH 之間存在獨立的因果關係。特別是高腰圍，即使調整了 BMI 後，仍然顯示與 BPH 有關聯。雖然 MR 研究對 BMI 的因果關聯認定為「具啟發性」且需要驗證，但在單變量分析中仍顯示相關。此外，肥胖似乎還會影響 BPH 藥物的效果。研究發現，肥胖會增強攝護腺體積增長，並減弱 dutasteride（一種 BPH 藥物）的效果。這可能不是藥物本身效果降低，而是藥物減少攝護腺體積的效果被肥胖導致的增長抵消了一部分（Raheem and Parsons, 2014）。請務必控制體重，尤其是腰圍！這可能是保護攝護腺健康的最重要一步。

2. 沙發是男人的墳墓？久坐不動！如果您是個「沙發馬鈴薯」，一天大部分時間都坐著，那您的攝護腺可能在抱怨。MR 研究發現，久坐行為與 BPH 風險升高存在因果關聯。而且這種關聯是獨立於 BMI 之外的。換句話說，就算您體重正常，長時間坐著不動仍然會增加風險。有前瞻性研究發現，每週看電視超過 30 小時的男性，發生中度或嚴重 LUTS 的可能性比每週看電視不到 1 小時的男性更高（Wang et al., 2022）。

2.2 讓攝護腺「眉開眼笑」的習慣

1. 動起來就對了！與久坐相反，增加運動量對攝護腺是個大好消息！多項研究一致且有力地指出，增加運動量與 BPH 和 LUTS 的風險降低有關。一項綜合 11 個研究的統合分析（meta-analysis）發現，與不運動的男性相比，從事輕度、中度到劇烈運動的男性，其 BPH 或 LUTS 的風險都有所降低。其中，中度至劇烈的身體活動可以降低高達 25% 的風險。而且，運動量越大，保護效果似乎越明顯。運動的保護效果甚至可以追溯到較年輕時期。研究發現，無論在 15-19 歲、30-39 歲還是 50-59 歲，保持中度或高水平的身體活動都與較低的 BPH 風險相關。運動對攝護腺的好處，可能部分來自於它能改善內皮功能

和減少慢性發炎反應，規律運動，越多越好！這是預防和改善 BPH/LUTS 的重要方法（Raheem and Parsons, 2014）。

2. 多吃菜！蔬菜和水果！您的餐盤裡是否充滿了蔬菜和水果？這對攝護腺健康很有幫助。研究顯示，蔬菜（特別是富含類胡蘿蔔素的，如番茄和胡蘿蔔）和水果可能與 BPH 風險降低有關。蔬菜和水果中豐富的抗氧化劑、多酚、維生素、礦物質和纖維，可能在調節與攝護腺病變相關的發炎反應中發揮作用。此外，血液中較高的維生素 E、番茄紅素（lycopene）、胡蘿蔔素濃度，也與症狀性 BPH 和 LUTS 呈負相關（Parsons, 2011）。

2.3 證據仍不明朗或衝突的因素（需要更多研究！）

1. 吸菸：關於吸菸與 BPH/LUTS 的關係，現有的研究結果是互相矛盾的。一些觀察性研究認為吸菸會加劇 BPH 症狀，有些則發現保護作用，還有的說沒有關聯。最新的 MR 研究在單變量和多變量分析中，並沒有發現吸菸行為（開始吸菸、每日吸菸量）和 BPH 之間有統計學上的顯著關聯。雖然對終生吸菸指數觀察到一個正向關聯的趨勢，但在調整其他因素後就不顯著了。從機制上來看，尼古丁可能增加交感神經活性，導致膀胱平滑肌張力增加，引起儲尿症狀（Wang et al., 2022）。吸菸還可能降低睾固酮水平，影響營養平衡、膀胱壁強度和逼尿肌穩定性。

2. 飲酒：飲酒與 BPH/LUTS 的關聯也存在衝突的數據。一些研究認為，適度飲酒可能與 BPH 風險降低有關。一項統合分析發現，與不飲酒相比，每天攝取 36 克酒精或更多，與 BPH 可能性降低 35% 有關（Raheem and Parsons, 2014）。但弔詭的是，也有研究認為輕度飲酒反而可能增加 LUTS 的風險，這可能是因為酒精的利尿作用或增加交感神經活性。MR 研究在單變量和多變量分析中，同樣沒有發現飲酒與 BPH 的統計學顯著關聯。MR 研究指出，目前的數據無法區分不同種類或模式的飲酒影響。飲酒對 BPH/LUTS 的影響尚不明確，特別是對於 LUTS，一些研究認為輕度飲酒可能有害。如果您已有泌尿道症狀，減少飲酒或許值得嘗試，但對於 BPH 本身的「保護」作用，證據並不一致。

3. 飲食中的營養素：一些觀察性研究認為，大量攝取總熱量、總蛋白質、紅肉、脂肪、牛奶和乳製品、穀類、麵包、家禽和澱粉，可能與症狀性 BPH 和 BPH 手術的風險增加有關（Raheem and Parsons, 2014）。特別是高脂肪飲食，有研究顯示相關，但也有研究未發現關聯（Wang et al., 2022）。MR 研究則沒有偵測到相對碳水化合物、脂肪、蛋白質和糖攝取與 BPH 之間的統計學顯著關聯。雖然研究結果不盡一致，但從多個研究的綜合訊息來看，減少紅肉和高脂肪食物攝取可能是合理的建議，且對整體健康也有益。

2.4 還有一些身體狀況與 BPH/LUTS 和 ED 有關

代謝症候群、高血壓、血脂異常和糖尿病。這些狀況都與攝護腺增大、BPH 和 LUTS 以及 ED 有關聯。糖尿病患者發生 ED 的風險更高，且通常更早、更嚴重，對藥物反應也較差（Calogero et al., 2019）。不過，針對第一型糖尿病患者進行的嚴格血糖控制研究，並未顯示能降低 LUTS 風險。針對 BPH 患者使用降血脂藥物 Statin，也未顯示對 LUTS、攝護腺體積或尿流率有改善，管理好這些代謝相關疾病，對攝護腺和整體健康至關重要。

荷爾蒙狀態（睪固酮）：男性荷爾蒙睪固酮在青春期攝護腺生長中很重要，但它在中年後攝護腺肥大中的作用仍在爭論。最近的研究顯示，在 65 歲以上男性中補充睪固酮，可以改善整體性功能、性慾和勃起功能。睪固酮水平與 BPH/LUTS 和 ED 有關，但具體機制和補充治療的角色仍需更多研究（Calogero et al., 2019）。

2.5 「英雄無用武之地」的例子：鋸棕櫚

許多人可能聽過或使用過鋸棕櫚（Saw palmetto）來改善攝護腺問題。然而，儘管早期的回顧研究似乎顯示它對 LUTS 和尿流率有益，但更新、更高品質的臨床試驗和回顧研究（包括 2009 年和 2012 年的 Cochrane 回顧）已經得出結論：鋸棕櫚並不能有效減少 LUTS、夜尿、改善尿流參數或縮小攝護腺體積（Raheem and Parsons, 2014），根據最新的高品質研究，鋸棕櫚對 BPH/LUTS 的症狀改善效果並未被證實。

三、總結：如何用生活習慣呵護您的攝護腺？

雖然有些生活因素與 BPH/LUTS 的確切關聯仍在研究中，而且目前缺乏專門針對「生活習慣改變」來治療 BPH/LUTS 的嚴格隨機對照試驗，但基於現有的大量觀察性研究以及具有因果推斷能力的 MR 研究結果，我們仍然可以給出合理的建議（表 1）。

為了您的攝護腺健康，請認真考慮以下幾點：

表 1、攝護腺肥大（BPH）/下尿路症狀（LUTS）的可改變風險因素

類別	因素	影響	證據強度
增加 BPH/LUTS 風險的習慣	肥胖（BMI、腰圍）	高 BMI 與腰圍增加攝護腺體積（BMI 每增加 1 kg/m ² ，攝護腺體積增 0.41 cc）；肥胖者 BPH 風險增 70%	強（MR 研究支持因果關係）
	久坐不動	久坐與 BPH 風險升高相關，每週看電視>30 小時者中重度 LUTS 風險更高	強（MR 研究支持因果關係）
降低 BPH/LUTS 風險的習慣	運動	中度至劇烈運動可降低 BPH/LUTS 風險高達 25%，運動量越大效果越顯著	強（統合分析支持）
	蔬菜攝取	富含抗氧化劑的蔬菜（番茄、胡蘿蔔）與水果降低 BPH 風險，改善發炎反應	中等（觀察性研究支持）
證據不明確的因素	吸菸	研究結果矛盾，部分顯示加劇或保護作用，MR 未發現顯著因果關聯	弱（需要更多研究）
	飲酒	適度飲酒可能降低 BPH 風險，但輕度飲酒或增 LUTS 風險	弱（研究衝突，MR 無顯著關聯）
	高脂肪飲食	部分研究顯示高脂肪、紅肉增加 BPH 風險，但 MR 未發現顯著關聯	弱（研究不一致）

其他相關因素	代謝症候群、糖尿病	代謝症候群、高血壓、血脂異常、糖尿病與 BPH/LUTS 及 ED 風險相關	中等（觀察性研究支持）
	睪固酮水平	補充睪固酮可能改善 LUTS 及 ED	中等（需更多研究）
無效的例子	鋸棕櫚	高品質試驗（Cochrane 回顧）證實無效	強（無效）

控制體重和腰圍！這是目前證據最為有力的建議之一。減少久坐時間！這是另一個具有因果關係的風險因素。多起身走動，增加站立和活動時間。增加身體活動和運動量！特別是中度到劇烈的運動。調整飲食習慣！多吃蔬菜和水果。減少紅肉和高脂肪食物的攝取，儘管這方面證據不如前幾項確定。

管理好代謝相關疾病：如果您有高血壓、高血脂、糖尿病或代謝症候群，積極治療和控制這些疾病對您的攝護腺和整體健康都有益處。

至於吸菸和飲酒，儘管它們與 BPH 本身的關聯性證據還不夠強或存在矛盾，但從整體健康的角度來看，戒菸和控制飲酒量仍然是普遍推薦的健康行為，而且它們確實與勃起功能障礙有關聯。

總而言之，照顧攝護腺健康，其實就是實踐整體健康的理念。透過健康的飲食、規律的運動以及減少久坐，您不僅是在幫助您的攝護腺，更是在投資您的心血管健康、改善性功能狀態，以及提高整體的生活品質。這些生活方式的改變是可行的治療目標，可能幫助延緩疾病發生、阻止其進展或減輕症狀。雖然還需要更多的研究來全面了解所有風險因素，但現在就開始改變，絕對是利大於弊！

參考文獻

Wang, Y. B., L. Yang, Y. Q. Deng, S. Y. Yan, L. S. Luo, P. Chen, X. T. Zeng (2022). Causal relationship between obesity, lifestyle factors and risk of benign prostatic hyperplasia: a univariable and multivariable Mendelian

randomization study. *J Transl Med*, 20(1): 495.

Calogero, A. E., G. Burgio, R. A. Condorelli, R. Cannarella & S. L. Vignera (2019). Epidemiology and risk factors of lower urinary tract symptoms/benign prostatic hyperplasia and erectile dysfunction. *The Aging Male*, 22: 12-19.

Raheem, O. A. and J. K. Parsons (2014). Associations of obesity, physical activity and diet with benign prostatic hyperplasia and lower urinary tract symptoms. *Curr Opin Urol*, 24(1): 10-14.

Parsons, J K. (2011). Lifestyle factors, benign prostatic hyperplasia, and lower urinary tract symptoms. *Curr Opin Urol*, 21(1): 1-4.

中華環安衛科技協會 第十四屆第五次理監事聯席會 會議紀錄

- 一、時間：中華民國 113 年 12 月 23 日(星期一)16:30
- 二、地點：高雄萬豪酒店 10 樓-皇喜 C 廳 (804 高雄市鼓山區龍德新路 222 號)
- 三、出席人員姓名
理事：吳忠信、吳裕文、林信一、陳俊銘、陳俊六、張益國、黃建元、陳永川、許逸群、陳奇男、林淵淙、方煥銘、連興隆、陳秋姣
監事：孫榮宏、王茂松、董正欽、郭俊賢、康敏捷
- 四、缺席人員姓名：(無)
- 五、請假人員姓名
理事：林瑞和、吳孟宗、陳信榮、薩支高、林宗曾、林健榮、王振華、郭俊彥、徐明才、施瑞卿、
監事：孫武正、楊志明
- 六、列席人員：無
- 七、主席：吳忠理事長 紀錄：黃嫻薰
- 八、主席致詞：(略)
- 九、報告事項：
(一) 本會於 12 月發行第 56 期會刊，預計 114 年 6 月會發行第 57 期會刊。
(二) 第 56 期會刊收錄了總共 6 篇文章，內容涵蓋環境、安全和健康三個議題，其中環境類為〈環境影響評估中施工期間環境監測的實踐與應用〉和〈土壤汙染改善過程的異味防制策略〉；安全類為〈初探積層製造於設備完整性之實務應用〉和〈論安全關鍵任務與安全關鍵設備性能標準任務的關聯性〉；以及健康類〈台灣安寧療護 30 年有成〉和〈子宮頸癌的預防、診斷與治療〉。內容多元且深具實務價值的研究成果，展現專家學者在環境保護、安全管理及健康促進領域的持續努力與創新。醫療新知與環境汙染對健康的潛在危害等，提供重要灼見與參考價值。
(三) 113 常年會費收取情形：(截至 113 年 12 月 15 日)。

	會費標準	數量			已收會費金額
		已繳會費	未繳會費	總數	
團體會員 A	6,000 元/年	4	30	34	24,000
團體會員 B 及 C	4,000 元/年	1	27	28	4,000
個人會員	1,000 元/年	42	141	183	61,000
合計		47	198	245	89,000

十、討論提案

提案一

案由：審議 113 年度 12 月 15 日前收支決算表。

說明：有關 113 年 12 月 15 日前收支決算表，請參閱附件 1。

決議：照案通過。

提案二

案由：審查新進個人、團體會員及團體會員改派會員之資格。

說明：檢附本次新進個人、團體會員及團體會員改派會員之資料如下，提請審議。

決議：照案通過。

新進個人會員

類別	編號	姓名	現職	推薦會員
常年會員	P253	陳昭達	境新工程顧問有限公司 技士	董正欽、陳秋蚊
永久會員	P254	王琳麒	國立高雄科技大學 海洋環境工程系教授	陳秋蚊

新進團體會員

類別	編號	團體名稱	會員代表 1	會員代表 2	會員代表 3	推薦會員
常年會員	A053	菁鈿股份有限公司	謝維洲	陳旭本	林儒彬	吳忠信

團體會員改派會員代表


編號	團體名稱	原派代表	改派代表
A023	中國鋼鐵股份有限公司	陳守道、黃柏仁、黃建誠	周文賢、黃柏仁、黃建誠

附件1

中華環安衛科技協會
收支決算表
113年1月1日至113年12月15日

單位：元

科目	1~12月實際 結算數	1~12月 預算數	實際與預算 比較	實際結算數說明
本會經費收入				
入會費	5,500			
常年會費	89,000	400,000	311,000	
會員捐款	176,000			
補助收入				
政府補助收入				
其他補助收入				
會員服務收入				
專案計畫收入				
業務活動收入				
利息收入	27,716	12,000	15,716	銀行存款利息
收入合計	298,216	412,000	326,716	
本會經費支出				
(一)人事費				
兼職人員車馬費				
其他人事費	120,480	120,720	240	人力支援(每月\$10,060)
小計	120,480	120,720	240	
(二)辦公費				
文具用品				
印刷費		10,000	10,000	會員手冊、通知單影印
出差費				
郵電費	1,625	5,000	3,375	郵資for開會通知、手冊..及匯費
稅捐				
其他辦公費				
小計	1,625	15,000	13,375	
(三)業務費				
會議費		30,000	30,000	演講費、場地租賃
聯誼活動費	44,208	130,000	85,792	
業務推廣費	15,780	15,750	(30)	網站虛擬主機
考察觀摩費				
會刊(訊)編印費	32,295	76,000	43,705	會刊編印、稿費
其他業務費	1,974			雜費(網站網址續約3年)
捐助費				
小計	94,257	251,750	159,467	
支出合計	216,362	387,470	173,082	
提撥基金				
本期餘絀	81,854	24,530	153,634	

理事長：

秘書長：

執行秘書：

財務秘書：

中華環安衛科技協會 第十五屆第一次會員大會 會議紀錄

- 一、時 間：中華民國 113 年 12 月 23 日(星期一)16:00。
- 二、地 點：高雄萬豪酒店 10 樓-皇喜 C 廳 (804 高雄市鼓山區龍德新路 222 號)。
- 三、出席人數：145 人 (應出席人數 270 人，親自出席 80 人，委託出席 65 人)。
- 四、列席人員：(無)
- 五、主席：吳忠信理事長 紀錄：黃嫻薰
- 六、主席致詞：(略)
- 七、來賓致詞：(略)
- 八、報告事項：

- 一、理事會工作報告：洽悉。
- 二、監事會監察報告：洽悉。

九、討論提案

提案一

- 提案人：理事會。
案由：審查 113 年度收支決算表，提請 討論。
決議：照案通過。

提案二

- 提案人：理事會。
案由：審議 113 年度工作計畫，提請 討論。
決議：照案通過。

提案三

- 提案人：理事會。
案由：審議 114 年收支預算表、工作人員待遇表，提請 討論。
決議：照案通過。

提案四

- 提案人：理事會。
案由：審查新進會員及團體會員改派會員之資格，提請 討論。
決議：照案通過。

中華環安衛科技協會 第十五屆第一次理監事聯席會 會議紀錄

- 一、時間：中華民國 113 年 12 月 23 日(星期一)18:00
- 二、地點：高雄萬豪酒店 10 樓-皇喜 C 廳 (804 高雄市鼓山區龍德新路 222 號)
- 三、出席人員姓名
- 理事：吳忠信、吳裕文、葉雅強、黃靖修、黃建元、江文彬、林淵淙、陳俊六、陳信榮、林瑞和、林信一、林宗曾、林登峰、陳俊銘、黃建誠、施瑞卿、王振華、方煥銘、陳俊能、李明祥、徐明才、許逸群、劉惠民、陳奇男、陳俊宇
- 候補理事：陳秋蚊、張啟達、孫惠坤
- 監事：孫榮宏、王茂松、康敏捷、董正欽、連興隆、郭俊賢、孫武正
- 四、缺席人員姓名：(無)
- 五、請假人員姓名
- 候補理事：張益國
- 候補監事：吳金河、楊志明
- 六、列席人員：無
- 七、主席：吳忠理事長 紀錄：黃嫻薰
- 八、主席致詞：(略)
- 九、報告事項：
- (一) 本會於今(12/23)下午假高雄萬豪酒店召開第十五屆第一次會員大會，並進行理事、監事改選，會議完滿落幕。
- (二) 第十五屆理事長、常務理事、常務監事選舉及開票名單如下：

選舉項目	當選人
理事長	吳忠信
常務理事	吳裕文、葉雅強、黃靖修、黃建元、江文彬、林淵淙
常務監事	孫榮宏
開票名單	監票人：潘俊仁 發票人：陳誼喬 唱票人：黃嫻薰 記票人：莊凱翔

十、討論提案
提案一

案由：聘任本會第十五屆秘書長及工作人員核議案。

說明：為利於本協會會務推展，達成未來各項推動目標，擬聘請潘俊仁先生擔任本協會第十五屆秘書長，擬聘請黃嫻薰小姐擔任本協會

第十五屆執行秘書，提請 審議。

決議：照案通過。

提案二

案由：審查聘任本會無給職顧問核議案。

說明：擬聘任顧問名單如下，提請 審議。

決議：照案通過。

1	顧問	陶正倫	男	可寧衛股份有限公司 前總經理
2	顧問	上官世和	男	中聯資源股份有限公司 總經理
3	顧問	李建賢	男	台南市政府財政稅務局局長
4	顧問	張廣智	男	水利署副總工程司
5	顧問	黃世宗	男	高雄市臨海工業區服務中心 主任
6	顧問	黃三泰	男	台灣中油股份有限公司石化事業部執行長
7	顧問	簡驛驥	男	前輔英科大教授兼環境工程與科學系主任
8	顧問	吳一民	男	中國鋼鐵股份有限公司環保處處長
9	顧問	顧正德	男	信利環保工程股份有限公司董事長

會員資格與權利義務

會員種類	加入資格	權利及義務	入會費 常年會費
個人	凡贊同本會宗旨，年滿二十歲者，經會員(會員代表)二人(含)以上推薦填具入會申請書，經理事會通過並繳納入會費後，為個人會員	權利：參加會員大會及各種活動的權利，有發言權、表決權、選舉權、被選舉權與罷免權 義務：繳納會費及遵守本會章程與決議事項	入會費 500 元 常年會費 1000 元/年
團體-A類	凡公私機構或團體贊同本會宗旨，填具入會申請書，經理事會通過並繳納入會費，為團體會員。 A類：資本額在六千萬元以上(含)的企業團體 B類：資本額在六千萬元以下的企業團體 C類：非營利事業之公私機構，社會法人團體等	權利：A類會員得推派會員代表3人，B、C類會員得推派代表2人，以行使比照個人會員享有之同等權利 義務：繳納會費及遵守本會章程決議事項	入會費 3000 元 常年會費 6000 元/年
團體-B類			入會費 3000 元 常年會費 4000 元/年
團體-C類			入會費 2000 元 常年會費 4000 元/年
贊助	凡贊同本會宗旨，對本會提供人力、物力贊助者，得經理事會通過為贊助會員	可享有參加會員大會及各種活動的權利，有發言權但無表決權、選舉權、被選舉權與罷免權	無

本協會對會員所提供的服務

一、免費贈閱會刊：

會刊每半年發行一期，內容涵蓋科技新知及產業訊息等，會員可藉以提升在環保及工業安全衛生的技術及競爭優勢。

二、免費參加各項活動：

本協會不定期舉辦環安衛相關議題的座談會及研討會，邀請各界專家學者演講及交流；另亦安排觀摩活動，參觀優良產、官、學、研單位，相互吸收經驗。

三、專屬網站：

本協會專屬網站 <http://www.cesha.org.tw/>，會員可藉此瀏覽本會最新訊息及相關資訊。

四、入會申請表

團體及個人會員申請表，放置於本協會專屬網站上，加入會員請於本會網站下載。



會址：80652高雄市前鎮區一心一路243號4樓之1

4F-1, No.243, Yixin 1st Rd., Qianzhen Dist., Kaohsiung City 80652, Taiwan

通訊地址：807618高雄市三民區建工路415號

No.415, Jiangong Rd., Sanmin Dist., Kaohsiung City 807618, Taiwan

Email: hph@nkust.edu.tw (黃小姐)

TEL：07-3814526轉12205

