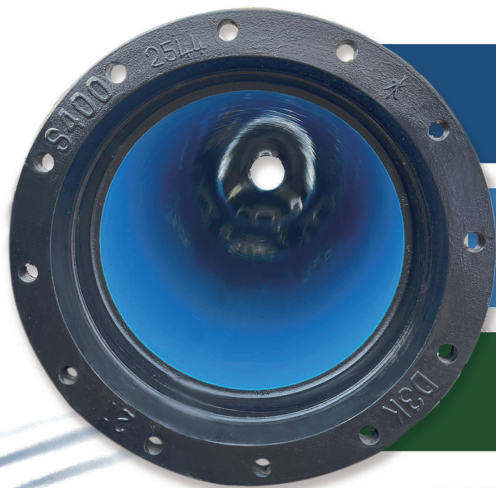


# 自來水用-延性鑄鐵管-

管內環氧·管外鋅層·層層把關·滴滴純淨

## ➡ 管內環氧樹脂粉體塗裝



❖ 表面光滑阻力小，  
提高流速、加大流量

❖ 超優質塗層無溶劑、  
無毒，符合飲用水標準

❖ 附著性強，不易剝落  
維持餘氯，提高水質穩定性

## ➡ 管外金屬鋅層加環氧樹脂漆塗



❖ 成本較低、  
施工簡單

❖ 具有犧牲陽極作用，  
增強抗腐蝕性

❖ 適用於腐蝕性土壤  
環境之埋設



興南鑄造廠股份有限公司

SHIN NAN CASTING FACTORY CO., LTD.

supersales@snpipe.com.tw

營業專線：

永康廠

台南市永康區鹽洲里洲尾街72號

06-253-4185 06-253-3554

北辦

台北市信義區基隆路二段149號9樓之3

02-23412580 02-23943355



# 自來水會刊第 45 卷第 1 期(177)目錄



## 實務研究

- 深度學習技術應用於淨水場生物監測系統之研究……………賴柏松、賴伯毅、吳界明…… 1
- 以AI抽水排程控制技術實現節能效益與供水穩定—宜蘭某淨水場案例  
……………余俊江、林志憲、洪鼎昇、蘇耆康、黃信明、王自立…… 10

## 本期專題 工程技術

- 延性鑄鐵管接頭防脫及固定台改善探討……………林晉禾…… 19
- 用戶外線治理的工程驗證機制……………林子立、顧培正、鍾伯均、林璟鴻…… 30
- AI輔助檢漏技術應用於西嶼供水系統之效益研析……林聖桓、張敬悅、蔡博淵、曹宜政…… 35
- AI應用於轉子斷條抽水機檢測之研究……………徐煜翔、葉信孝、沈昕平、王聆彥…… 43

## 一般論述

- AI應用大爆發的耗水問題探討……………邱嘉南…… 48
- 馬太鞍堰塞湖泥流淹沒水表箱之應變處理……………陳宥瑄、葉清華…… 56
- GPU伺服器應用於建置錄音轉文字經驗談……………胡斌漢、張琮明、張文旭…… 62

## 他山之石

- 赴紐西蘭參加IWA—ASPIRE 2025會議暨東京水道株式會社參訪報告  
……………李建興、林美良、林志憲、蘇柏源、葉文正、李明輝…… 68

## 協會與你

- 協會訊息……………本刊編輯部…… 75
- 歡迎投稿115年「每期專題」…………… 42
- 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法…………… 61

封面照片：淨水場生物監測系統流程示意圖 台灣自來水公司提供

## 自來水會刊雜誌稿約

- 一、本刊為中華民國自來水協會所發行，係國內唯一之專門性自來水會刊，每年二、五、八、十一月月中旬出版，園地公開，誠徵稿件。
- 二、歡迎本會理監事、會員、自來水從業人員，以及設計、產銷有關自來水工程之器材業者提供專門論著、實務研究、每期專題、專家講座、一般論述、業務報導、他山之石、法規櫥窗、研究快訊、學術活動、出版快訊、感性園地、自來水工作現場、自來水廠(所)的一天、會員動態、協會與您等文稿。
- 三、「專門論著」應具有創見或新研究成果，「實務研究」應為實務工作上之研究心得(包括技術與管理)，前述二類文稿請檢附摘要。「每期專題」由本刊針對特定主題，期使讀者能對該主題獲致深入瞭解。「專家講座」為對某一問題廣泛而深入之論述與探討。「一般論述」為一般性之研究心得。「業務報導」為國內自來水事業單位之重大工程或業務介紹。「他山之石」為國外新知或工程報導。「法規櫥窗」係針對國內外影響自來水事業發展重要法規之探討、介紹或說明。「研究快訊」為國內有關自來水發展之研究計畫期初、期中、期末報告摘要。「學術活動」為國內、外有關自來水之研討會或年會資訊。「出版快訊」係國內、外與自來水相關之新書介紹。「感性園地」供會員發抒人生感想及生活心得。「自來水工作現場」供自來水從業人員，針對工作現場發表感想。「自來水廠(所)的一天」為提供自來水基層廠(所)的工作現況，增進社會各界對自來水服務層面的認識。「會員動態」報導各界會員人事異動。「協會與您」則報導本會會務。
- 四、惠稿應包含 300 字以內摘要及關鍵字，每篇以不超過十頁為宜，特約文稿及專門論著不在此限，**本刊對於來稿之文字有刪改權，如不願刪改者，請於來稿上註明**；無法刊出之稿件將儘速通知。
- 五、文章內所引之參考文獻，依出現之次序排在文章之末，文內引用時應在圓括號內附其編號，文獻之書寫順序為：期刊：作者，篇名，出處，卷期，頁數，年月。書籍：作者，篇名，出版，頁數，年月。機關出版品：編寫機構，篇名，出版機構，編號，年月。英文之作者姓名應將姓排在名之縮寫之前。
- 六、本刊原則上不刊載譯文或已發表之論文。投稿一經接受刊登，版權即歸本協會所有。
- 七、惠稿(含圖表)請用電子檔寄至 [danielfresh@mail.water.gov.tw](mailto:danielfresh@mail.water.gov.tw)，並請註明真實姓名、通訊地址(含電話及電子郵件地址)、服務單位及撰稿人之專長簡介，以利刊登。
- 八、稿費標準為專門論著、實務研究、一般論述、每期專題、專家講座、法規櫥窗、他山之石、特載等文稿 900 元/千字，「業務報導」為 500 元/千字，其餘為 400 元/千字，封面照片及文稿中之「圖」、「表」如原稿為新製者 400 元/版面、如原稿為影印複製者，不予計費。
- 九、本會刊於 110 年開始發行電子會刊，內容已刊載於本協會全球資訊網站 ([www.ctwwa.org.tw](http://www.ctwwa.org.tw)) 歡迎各界會員參閱。
- 十、本刊中之「專門論著」、「實務研究」、「一般論述」、「每期專題」及「專家講座」，業經行政院公共工程委員會列為技師執業執照換發辦法第四條第一項第六款之「國內外專業期刊」，適用科別為「水利工程科」、「環境工程科」、「土木工程科」。

## 自來水會刊雜誌

**發 行 單 位：**中華民國自來水協會

**發 行 人：**李嘉榮

**會 址：**臺北市長安東路二段一〇六號七樓

**電 話：**(02)25073832

**傳 真：**(02)25042350

**中華民國自來水協會編譯出版委員會**

**主任委員**

黃志彬

**副主任委員**

李丁來

**委 員**

陳明州、康世芳、武經文、邱福利、

吳能鴻、王明傑、楊人仰

**自來水會刊編輯部**

臺中市雙十路二段二號之一

行政院新聞局出版事業登記證局第 2995 號

**總 編 輯：**李丁來

**執行主編：**唐俊成

**編審委員**

甘其銓、周國鼎、鄭錦澤、陳文祥、黃文鑑、

梁德明

**執行編輯：**吳宗昱

電 話：(04)22244191 轉 537

**行政助理：**劉麗玉

協力廠商：松耀印刷企業有限公司

地 址：台中市北區國豐街 129 號

電 話：(04)22386769

# 深度學習技術應用於淨水場生物監測系統之研究

文/賴柏松、賴伯毅、吳界明

## 摘要

本研究以深度學習技術建立一套魚類自動偵測與監測系統，應用於自來水廠養魚箱影像之水質監測。研究採用 YOLOv11 物件偵測模型，並使用 Open Images Dataset 中之魚類影像進行訓練，經格式轉換與模型優化後，在驗證集上達 Precision 0.58、Recall 0.84、mAP@0.5 0.577。為提升小魚偵測率，系統導入切圖與兩階段非最大抑制（NMS）技術，並於實際養魚箱影片中進行測試。結果顯示，在信心閥值 0.2 下可達 Recall 0.939，具即時偵測可行性；綜合 Precision、Recall 與 F1 Score 分析後，選定信心閥值 0.5 為最佳平衡點。另設計死區警示邏輯，當魚體於畫面上下 10% 區域停留時即標示紅框以提示異常。整體結果顯示，本系統能有效實現魚體辨識與水質異常初步警示，具自動化與實務應用潛力。

關鍵字：YOLO、魚類辨識、影像偵測、水質監測、人工智慧

## 一、前言

隨著近年人工智慧與電腦視覺技術的快速發展，影像辨識已在環境監測與生態觀察領域中展現高度潛力。傳統的水質監測主要依賴化學感測器或人工檢測，雖能提供精確的水質數據，但無法即時反映生物反應與魚類行為變化。由於魚類對水中溶氧量、污染物及水溫等變化極為敏感，養魚作為生物

指標可作為監測水質異常的重要輔助依據。然而，目前水廠內的魚類監測多仍依賴人員觀察，存在反應時間長與判斷主觀等問題，亟需自動化的影像辨識技術輔助。

近期研究顯示，YOLO 模型在魚類偵測上已展現潛力，例如 Mahajan et al. (2024)<sup>[1]</sup> 使用 YOLOv8 在魚網資料集上達成高準確率的魚類分類，證實其在複雜水域環境的適用性。本研究旨在建構一套以深度學習為基礎的魚類自動偵測與監測系統，應用於自來水廠養魚箱影像監測。研究中採用 YOLO (You Only Look Once) 物件偵測模型進行魚類辨識，並導入切圖 (tiling) 技術以提升小型魚體的偵測率。系統將影像分割為 640×640 像素區塊 (重疊 50%)，於各區塊獨立偵測後，透過兩階段非最大抑制 (Non-Maximum Suppression, NMS) 整合結果，有效去除重疊框並統計魚數。

在資料部分，本研究以公開之 Open Images Dataset 的魚類影像作為訓練資料，並以自來水廠養魚箱實際影像作為測試來源，以評估模型的可行性與泛化能力。實驗結果顯示，系統在開放資料訓練下的魚類辨識準確率約達 70%，能即時顯示魚體位置與數量，但在光線反射、魚體重疊及水面波動等情境下，仍可能出現偵測遺漏或重複框的情況。為克服訓練資料中魚體尺寸較大而實際環境中魚體偏小的域轉移問題，切圖與

NMS 技術顯著提升了小魚的偵測穩定性。

此外，為輔助水質監測，本研究設計了簡易的死亡警示邏輯：將影像上下各 10% 區域定義為「死區 (Dead Zone)」，當魚體於死區內連續停留時，系統即將其邊界框轉為紅色，視為魚體可能死亡或活動異常，提供水廠管理端作為警示依據。

本研究目前處於可行性驗證階段，初步結果顯示，YOLO 結合切圖與 NMS 的架構可有效實現魚類於封閉水體中的即時偵測與魚數統計。未來若能以實際水廠魚群影像進行再訓練，預期將進一步提升辨識準確度與系統穩定性，為水質監測的自動化與智慧化奠定基礎。

## 二、研究方法

### (一)資料來源與前處理

本研究使用 Open Images Dataset 中的「魚」類影像作為訓練資料，共計 6,762 張影像，包含 25,710 個標註框，如表 1 所示。該資料集原標註格式為 CSV，為了能於 YOLO 模型中使用，需先轉換為 YOLO 標註格式（以文字檔記錄類別編號及歸一化後之邊界框座標）。

測試資料則取自自來水廠養魚箱的監視影像。該環境具有反光、氣泡及魚體重疊等問題，藉此可驗證模型於實際場域中的穩定度與泛化能力。

### (二)模型架構與訓練流程

本研究採用 YOLO 系列之最新版本 YOLOv11 進行魚類即時偵測 (Ultralytics, 2025)<sup>[2]</sup>。YOLO 架構自 Redmon et al. (2016)<sup>[3]</sup>

提出以來，已廣泛應用於物件偵測任務。本研究參考 Bochkovskiy et al. (2020)<sup>[4]</sup>之改進設計，並基於 Ultralytics 官方實現進行訓練與部署。輸入尺寸設定為 640×640，學習率 0.001，批次大小 16，共訓練 170 個批次 (epoch)。主要評估指標為 mAP@0.5，並於 NVIDIA A100 GPU 上完成訓練。

為提升小魚偵測率，本研究導入切圖與兩階段 NMS 技術，類似 Yan et al. (2024)<sup>[5]</sup>提出的 CBAM-YOLO 輕量級網路，用於處理水下影像的即時偵測挑戰：將每幀影像分割為 640×640 之小塊（重疊比例 50%），每個小塊分別偵測後再整合結果，最後應用兩階段非最大抑制 (Non-Maximum Suppression, NMS) 去除重疊框，重疊閾值 (IoU threshold) 設定為 0.3，以確保偵測結果穩定且準確。

### (三)死區偵測邏輯

為監測魚體活動異常，本研究在影像上下各設定 10% 區域為「死區 (Dead Zone)」。當魚體於該區域內停留超過一定時間，系統即將其邊界框轉為紅色，以提示可能死亡或活動異常，作為水質異常的初步警示依據。

### (四)系統流程

整體系統流程如圖 1 所示。系統自影像擷取至警示輸出，步驟如下：

1. 攝影機擷取養魚箱影像。
2. 切圖技術將影像分割為小塊，並由 YOLO 模型偵測魚體位置。
3. 應用 NMS 合併結果，計算魚數。
4. 判定是否進入死區並輸出警示。

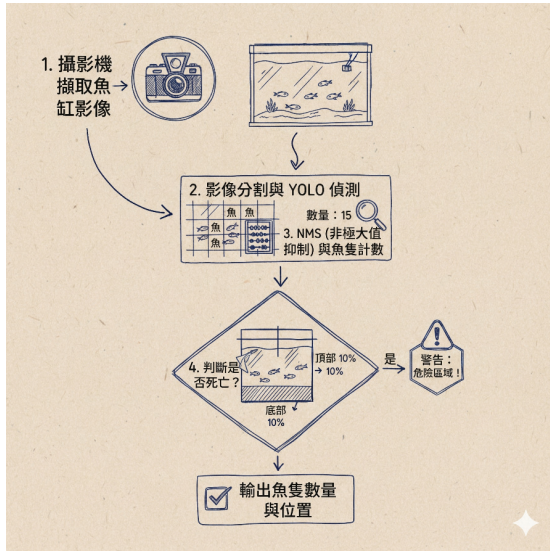


圖 1 生物監測系統流程圖

表 1 魚類辨識模型使用訓練資料

類別	影像數	標註框數	備註
魚	6762	25710	取自 Open Image Dataset

### 三、實驗結果

#### (一)魚類偵測成果

本研究以 YOLOv11 模型進行魚類偵測，主要評估指標包含 Precision、Recall、F1 Score 與 mAP@0.5，其定義如下：

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{F1 Score} = \frac{2 \times \text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

$$\text{mAP@0.5} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N AP_i$$

其中：

- TP (True Positive)：模型正確偵測到的魚體數量。
- FP (False Positive)：模型誤判為魚的背景物件。
- FN (False Negative)：未被偵測出的實際魚體。

#### (二)模型訓練過程

YOLOv11 模型於 NVIDIA A100 GPU 上訓練 170 個 epoch，其訓練與驗證過程如圖 2 所示，顯示模型在訓練與驗證階段的損失與評估指標變化情形。結果顯示：

- Loss 逐步下降：train/box\_loss、train/cls

\_loss、train/df\_loss 以及對應的驗證損失 (val) 均持續下降，顯示模型穩定收斂。

- Precision 與 Recall 持續上升：metrics/precision(B)與 metrics/recall(B)曲線逐步提升，最終分別達約 0.58 與 0.84。
- 整體偵測能力穩定：metrics/mAP50(B)最終達 0.577，曲線於約 50 個 epoch 後趨於平穩，顯示模型在 IoU = 0.5 條件下具有穩定辨識能力。

模型整體訓練結果彙整如表 2 所示，測試集圖片辨識結果如圖 3，相較於 Mahajan et al. (2024)<sup>[1]</sup>在魚網資料集上的 YOLOv8 效能，本研究在開放資料集上的 mAP@0.5 達 0.577，顯示類似模型在水廠環境的泛化能力。

### (三)養魚箱影片測試

為驗證模型於真實場域的可行性，本研究選取自來水廠養魚箱一段監視影片作為測試樣本。影片總長 695 幀，實際魚隻數量為 7 條。在信心閾值 (Confidence Threshold) = 0.2 下，模型輸出結果如下：

- 處理幀數：695。
- 總偵測魚數：4566
- 每幀平均偵測魚數：6.57
- 真實魚數：7
- Recall = 0.939

實際辨識畫面如圖 4 所示。結果顯示，模型於真實水域環境中能穩定辨識多數魚體，約可偵測出 93.9%的實際魚數。雖受水面反光與氣泡干擾影響而略有漏偵，但整體具備即時監測的可行性。

### (四)誤判情形與討論

為分析模型在實際應用中的限制，本研

究針對誤判 (假陽性，將非魚類物件辨識為魚) 與漏偵 (假陰性，未能辨識真實魚類) 進行觀察與整理。模型在不同光照與視角條件下會表現出不同程度的不穩定性。實驗結果顯示，誤判多與環境干擾或背景結構相似性有關，而漏偵則常源於魚體姿態與角度變化導致特徵不明顯。在實際影像中(如圖 5)，常見的誤判情況包括：

- 將水管、反光區域或水波紋誤判為魚。這些背景元素在影像中呈現細長或閃亮形狀，與魚體外觀特徵相似，使模型在低信心閾值下容易誤識。
- 魚體轉身朝向攝影機游動時無法被辨識。由於角度改變使魚體僅呈現為小面積亮點，模型無法辨別其輪廓或紋理特徵，導致短暫漏偵或追蹤中斷。

這類情況顯示模型對「形狀與紋理」特徵高度敏感，但對「動態與深度」變化較不穩定。若未來能納入更多實際水廠環境下的影像樣本，特別是不同光線方向、鏡頭角度與魚體姿勢的資料，可望改善這些問題。

### (五)信心閾值選擇與效能分析

為探討模型在不同信心閾值設定下的行為與效能差異，本研究以 3.3 節所述測試影片於不同信心閾值下的辨識結果統計，整段影片序列統計 (總幀數 695、每幀真實魚數 7、總真實魚數 4865)，其結果如表 3 所示，顯示模型於不同信心閾值下的整體偵測趨勢。隨著信心閾值門檻的提升，偵測數量與 Recall 顯著下降。當閾值偏低 (0.2 - 0.3) 時，模型偵測結果較為「寬鬆」，容易將背景反光或異物誤判為魚；而當閾值過高 (0.6 - 0.7) 時，模型雖能完全排除誤判，但同時造成大

量魚體漏偵。

為進一步觀察不同信心閾值下的精度，本研究以單一幀影像進行人工標註，並逐一比對 YOLO 輸出結果，以獲得更準確的 Precision、Recall 與 F1 Score。其統計結果如表 4 所示，辨識結果比較如圖 6。

由表 4 可見，當信心閾值較低(0.2 - 0.3)時，模型傾向於輸出更多偵測框以避免漏偵，導致 Recall 達 1.000，但 Precision 僅約 0.7 - 0.78，代表偵測結果中約有 20 - 30%為誤判(假陽性)。這些誤判多源於背景中具有魚體相似紋理或形狀的物件，如水管、氣泡或反光波紋，使模型將其誤識為魚。

當信心閾值逐步提升至 0.4 - 0.5 時，模型開始對偵測結果採取更嚴格的判定，誤判率明顯下降，Precision 快速提升至 0.857 - 1.000。其中 Confidence = 0.5 時同時維持高 Precision (1.000) 與中高 Recall

(0.857)，F1 Score 達 0.923，顯示該設定在準確度與偵測覆蓋率之間達到最佳平衡。

若閾值繼續提高至 0.6 - 0.7，雖然 Precision 維持 1.000 (完全無誤判)，但 Recall 急劇下降至 0.571 甚至 0.143，顯示模型變得過於保守，僅在高信心物件上做出預測而忽略邊緣或姿態不明確的魚體。實際畫面中，這些漏偵多發生在魚體側轉或正面朝向鏡頭時，因其輪廓收縮為小面積亮點，導致模型無法辨識。

綜合而言，表 4 呈現了典型的 Precision - Recall 反向關係：低閾值提高偵測敏感度但犧牲準確性；高閾值則提高精確度但降低覆蓋率。綜觀三項指標的變化趨勢，本研究最終選擇 Confidence Threshold = 0.5 作為主要設定值，兼顧穩定性與辨識可靠度，並將此參數應用於後續魚體追蹤與死區警示模組。

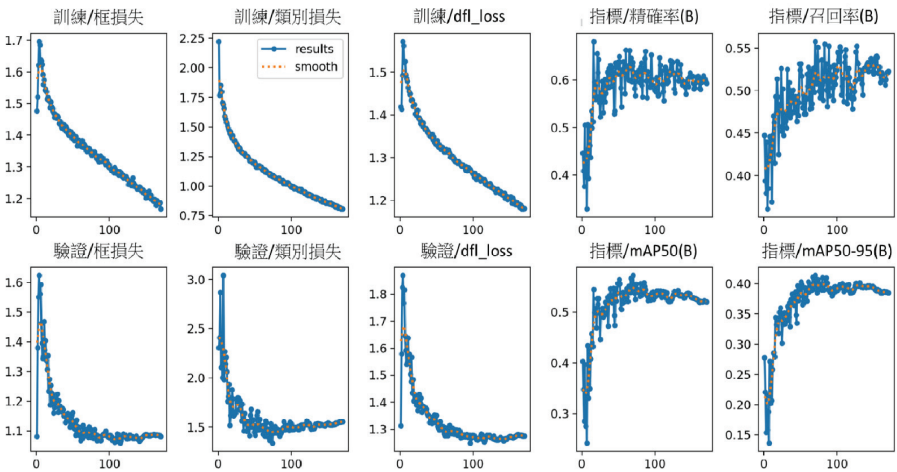


圖 2 魚類辨識模型訓練與驗證過程

表 2 魚類辨識模型訓練結果評估指標

指標名稱	數值 / 結果	說明
精準率(Precision)	0.58	預測為魚的樣本中，有 58% 為正確
召回率(Recall)	0.84	實際魚體中有 84% 被偵測出。
F1 Score (最佳)	0.59 @ Confidence = 0.54	Precision 與 Recall 的最佳平衡點。
平均精度均值 (mAP@0.5)	0.577	各信心閾值下平均準確率。



圖 3 測試集圖片辨識結果



圖 4 使用魚類辨識模型辨識養魚箱魚群



圖 5 魚類辨識模型之假陽性與假陰性辨識

表 3 信心閾值 Confidence Threshold 0.2 - 0.7 下整體影片統計結果

信心閾值 Confidence Threshold	總偵測魚隻數 Total Detected Fish	總影格數 Total Frames	每影格平均魚隻數 Average Fish per Frame	實際魚隻數量 Ground-Truth Fish Count	召回率 Recall
0.2	4566	695	6.57	7	0.939
0.3	4162	695	5.988	7	0.855
0.4	3557	695	5.118	7	0.731
0.5	2645	695	3.806	7	0.544
0.6	1617	695	2.327	7	0.332
0.7	336	695	0.483	7	0.069

表 4 信心閾值 Confidence Threshold 0.2 - 0.7 單幀人工統計結果

信心閾值 Confidence Threshold	偵測數量 Detected Count	真陽性 (TP) True Positive	偽陽性 (FP) False Positive	精確率 Precision	召回率 Recall	F1 分數 F1 Score
0.2	10	7	3	0.700	1.000	0.824
0.3	9	7	2	0.778	1.000	0.875
0.4	7	6	1	0.857	0.857	0.857
0.5	6	6	0	1.000	0.857	0.923
0.6	4	4	0	1.000	0.571	0.727
0.7	1	1	0	1.000	0.143	0.250

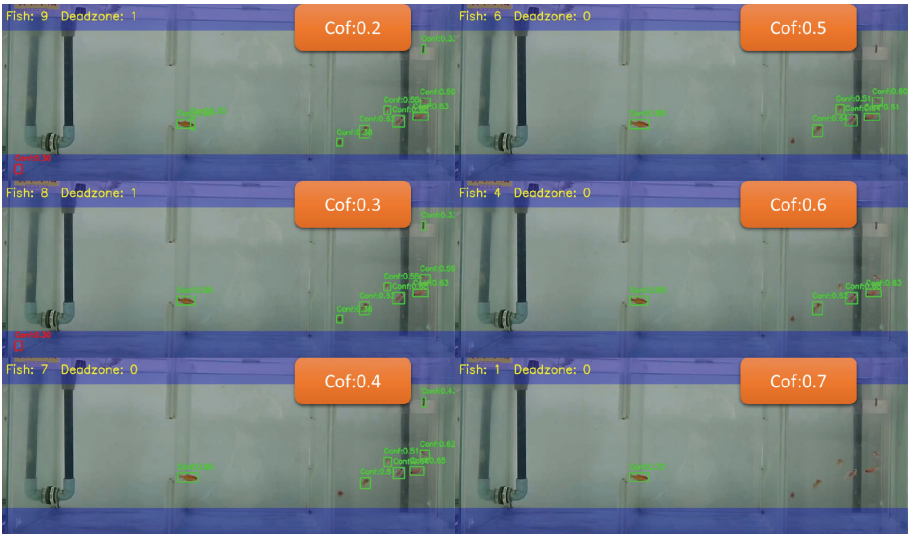


圖 6 信心閾值 Confidence Threshold 0.2 - 0.7 辨識結果比較圖

#### 四、結論與建議

##### (一)結論

本研究以 YOLOv11 物件偵測模型 為核心，建構一套應用於自來水廠養魚箱影像監測的魚類自動偵測系統，並整合影像前處理、切圖 (tiling) 技術與死區 (Dead Zone) 判定機制，以實現魚體狀態的即時監測與水質異常預警。主要研究成果與結論如下：

##### 1. 魚類偵測模型建立與效能驗證：

使用 Open Images Dataset 的魚類影像進行訓練，經標註轉換為 YOLO 格式後在 NVIDIA A100 GPU 上訓練 170 個 epoch。模型最終於驗證集達 Precision 0.58、Recall 0.84、mAP@0.5 0.577，顯示 YOLOv11 能有效辨識魚體特徵並具穩定收斂性。

##### 2. 實際場域測試結果：

以自來水廠養魚箱監視影像為測試資

料，模型於 Confidence = 0.2 時可達 Recall 0.939，顯示其具備即時監測可行性。雖在光線反射、魚體重疊或水波紋等情況下仍出現誤判與漏偵，但整體能穩定偵測多數魚體。

##### 3. 誤判與漏偵分析：

誤判主要來自影像中與魚體形狀相似的結構 (如水管、反光區域、波紋)，漏偵則多發生於魚體正面游向鏡頭或姿態變化劇烈時。此結果顯示模型對靜態特徵辨識良好，但對立體姿態與角度變化仍不敏感。

##### 4. 信心閾值最佳化與效能平衡：

比較不同信心閾值 (Confidence Threshold = 0.2 - 0.7) 後發現，低閾值雖提升偵測覆蓋率，但誤判率高；高閾值則導致漏偵增加。綜合 Precision、Recall 與 F1 Score 評估，於 Confidence = 0.5 時達 F1 Score 0.923，為準確度與穩定性之最佳平衡點。

##### 5. 系統可行性與應用潛力：

研究結果顯示，本系統可即時偵測魚體位置、統計魚數並判定是否進入死區，具備水質異常初步預警之功能。其流程簡潔、運算效率高，未來可作為水質監測自動化的重要輔助技術。

## (二)建議

1. 蒐集實際環境影像資料以強化模型泛化性：

目前訓練資料主要來自公開資料集，與水廠實際環境在光線、水色與魚體大小上存在差異。未來可針對水廠現場影像重新標註並再訓練，以提升模型對實際場景的辨識準確度。

2. 導入資料增強與遷移學習技術：

建議加入影像亮度調整、旋轉、翻轉等資料增強方法，並可透過遷移學習（Transfer Learning）或微調（Fine-Tuning）方式，縮短再訓練時間並強化模型的適應能力。

3. 結合多感測器資訊：

未來可與溶氧、濁度、pH 值、溫度等感測資料結合，建立多模態智慧監測系統，以魚體行為與水質變化之關聯作為異常預警依據。

4. 系統實用化與長期部署：

可將本系統整合至邊緣運算裝置或雲端平台，實現長期自動化監測與遠端警報功能，並可進一步開發介面供操作人員即時查看魚體狀態與統計報告。

## 參考文獻

1. Mahajan, O., Puvathingal, D., Patel, D., Jaiswal, S., Mane, D., & Kanade, P. (2024). YOLOv8 based fish detection and classification on fishnet dataset.

Journal of Electrical Systems, 20(3), 1456-1464.

2. Ultralytics. (2025). YOLOv11: State-of-the-art computer vision model. Ultralytics Docs. <https://docs.ultralytics.com/models/yolov11/>

3. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 779 – 788).

4. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. arXiv preprint arXiv:2004.10934. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2004.10934>

5. Yan, Z., Hao, L., Yang, J., & Zhou, J. (2024). Real-time underwater fish detection and recognition based on CBAM-YOLO network with lightweight design. Journal of Marine Science and Engineering, 12(8), 1302. <https://doi.org/10.3390/jmse12081302>

## 作者簡介

### 賴柏松先生

現職：台灣自來水公司資訊處工程師  
專長：資訊系統規劃、資訊系統設計開發

### 賴伯毅先生

現職：台灣自來水公司資訊處工程師  
專長：資訊系統規劃、資訊系統設計開發

### 吳界明先生

現職：台灣自來水公司第六區管理處處長  
專長：演算法、資料探勘、機器學習

# 以 AI 抽水排程控制技術實現節能效益 與供水穩定—宜蘭某淨水場案例

文/余俊江、林志憲、洪鼎昇、蘇耆康、黃信明、王自立

## 摘要

本研究旨在解決淨水場變頻抽水機操作中常見的耗能操作與過度仰賴人工經驗等問題，特提出一套可輕量化加掛於既有 SCADA/PLC 系統的 AI 抽水機控制技術。本系統核心結合了抽水機效率模型、短期用水需求預測與多目標排程控制等三大模組，並在台灣自來水公司宜蘭某淨水場進行了為期 7 個月的實場導入與驗證。

結果顯示，在維持同等供水量與壓力服務水準的前提下，系統成功使出水單位用電平均降低 16%，能效提升達 18%，在不同負載區間節能率仍可介於 9%至 28%。

此外，供水壓力長期穩定於設定範圍，且高達 97%的運轉時間由系統自動控制，人工介入時數減少逾 80%。投資回收期約為 2.5 至 3 年，充分展現其擴大推廣至其他場站的可行性。

關鍵字：AI 抽水機控制、節能、電費降低、供水穩定、變頻加壓系統、智慧水務、自動化控制

## 一、前言

### (一)研究動機與背景

自來水系統之用電佔總產水成本比重極高，其中抽水機用電約佔淨水場總用電的 70% - 90%。鑑於近年全球能源價格持續攀升及淨零排放(Net Zero)的減碳壓力，如何有效提升抽水機組的能源效率，已成為自來

水事業單位亟需解決的核心課題。實務上多以「出水單位用電量 (kWh/m<sup>3</sup>)」與抽水機「總效率 ( $\eta = k \times \text{揚程} \times \text{流量} \div \text{輸入電功率}$ )」作為核心績效指標，追求在既定的服務水準下，以最少的用電供應所需的揚程與流量。

傳統的認知往往將採購具有高「額定效率」抽水機，並以滿載或全頻運轉就等同於會有「高效率」操作運轉；然而，實際上，抽水機能否能持續運轉於最佳效率點 (Best Efficiency Point, BEP)附近，才是決定其實際效率高低的關鍵。

多數抽水機在設計時需考量未來十年以上的尖峰用水需求，導致其日常實際運轉條件多落在額定值的 50%至 80%區間。在低流量或偏離設計點的不當操作下，其運轉效率甚至會低於 50%。若採定頻運轉，一旦系統揚程（如管網阻力）改變，其運轉點便會偏離 BEP。依據水力機械理論與既有文獻經驗，透過適當的變頻調速控制，若能使抽水機的最佳效率比 (Best Efficiency Ratio) 維持在 90% 以上，可大幅提升系統整體用電效率，同時減少不必要的啟停次數與機械耗損，有效延緩設備老化。

另一方面，用戶用水需求隨季節、日、週與時段呈現高度波動性。目前現場操作多仰賴人員經驗設定水壓與水量，缺乏標準化指標與即時優化機制，導致管網末端常出現過度供應水壓 (Over-pumping) 的現象。這種

過供問題，其造成的額外能耗難以量化與持續改善。若能將短期用水需求預測與即時變頻控制相結合，預計可帶來 3%至 10%以上的額外節能效益。

然而，要同時滿足供水壓／水量、儲水安全水位與跨站聯合操作等多重限制條件，並找出多台抽水機的最佳運轉組合（啟停與變頻頻率）是一項極為困難的任務。此類多目標下的排程控制屬於 NP-hard 問題，各參數間的複雜交互影響，使得決策組合的數量可達上億種，單純仰賴人工作業難以做到全天候持續的最佳化選擇，這不僅造成出水單位用電量居高不下，若要嘗試以人工解算，也會增加操作人員負擔與潛在的供水風險。

## (二)研究目的

現有自動化與最佳化方案多需大量感

測與顧問整合，導致導入門檻高、回收期長。為降低難度並兼顧效益，本研究由台灣自來水公司與應科團隊共同開發「輕量化 AI 抽水機控制」技術與工程化方法，結合 AI、IoT、水力、機械與電機等跨域技術，建立一套低成本、低改造、能夠快速落地且可由單一場站起步的軟體解決方案。本系統以多目標導向的營運服務水準（Service Level Agreement, SLA）為核心，能自動化、即時化地同時達成水壓與流量穩定、能耗最佳化、設備壽命延長與儲量安全等多項目標；在維持民眾用水穩定的同時，使設備盡量運行於高效率區，大幅降低能源與營運成本。本研究於宜蘭某淨水場之變頻抽水機直接加壓進行實場驗證，以場端出水壓與水量為需求達成目標，並以基準期對照導入後之指標，評估其可複製之成效。

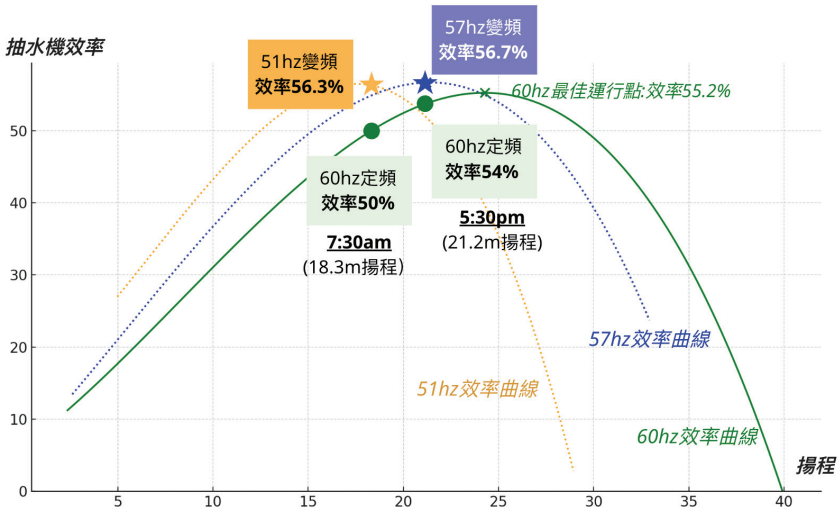


圖 1 在不同頻率下抽水機效率曲線及其操作點的表現



圖 2 AI 排程演算法模型架構

## 二、輕量 AI 模型技術及系統架構

本研究所開發之「輕量化 AI 抽水機控制技術」，係採用三層模型 AI 排程演算法，核心包含設備建模、需求預測與最佳化控制三大模組，詳如圖 2。首先，透過少量現場運轉與試車數據建立抽水機性能與效率模型，掌握各泵浦在不同頻率與揚程下的能耗特性；其次，利用時間序列與機器學習方法預測短期用水需求與系統曲線變化，形成即時控制參考。在控制層面，本研究採「雙智能控制」架構，僅需極少感測資料即可運行，具建模快速、維運成本低與即時運算等優勢。第一層為動態預測層 (Dynamic Ramping MPC, Model Predictive Control)，以多目標最佳化演算法持續推算最節能且穩壓的泵浦啟停與頻率組合；第二層為多目標 PID 層 (比例 - 積分 - 微分 Proportional - Integral - Derivative)，即時校正壓力與流量偏差，動態調整控制輸出並自動

權衡節能與穩壓需求，當偵測到異常或感測失效時能依「例外階梯 + 鎖存」邏輯安全回退並發出警示，確保供水穩定不中斷。三層模組相互串聯，形成閉環學習與控制機制，持續維持高效率且穩定的供水狀態。

### (一)系統整合架構

系統採用 MODBUS 或 OPC 通訊協議，可輕鬆整合既有 SCADA 或 PLC 環境，快速與現場設備串接。以即時讀取水壓、水量、電功率、頻率等關鍵參數，並自動計算最佳抽水機組合與運轉頻率，實現低成本、高精度、即插即用的智慧化閉環控制。本系統架構兼具工程可行性與可擴充性，可於不同類型場站快速部署，為傳統供水系統邁向智慧化營運奠定基礎。

## 三、淨水場導入與操作流程

### (一)驗證場景簡介

驗證場域為台灣自來水公司宜蘭某淨水場，該場供應羅東供水系統，此系統可跨

區支援供應宜蘭供水系統。該場 112 年平均日出水量約 4.20 萬立方公尺，目標供應區域人口約 12 萬人、用戶約 4.5 萬戶。全場設計包含原、淨供水等單元，並設有完善之廢水處理系統以回收與處理製程產生之排放水。

### (二)導入與試運轉

為驗證系統具備完全自動化運轉能力，於該場進行為期 14 天的結構化測試。測試內容包括：

- 1.功能驗證：確認所有感測器、變頻器及通訊模組可正確回傳資料並接收控制命令。
- 2.組合測試(2 小時及 10 小時組合試驗)：以多組抽水機組合運行，驗證 AI 控制對水量與水壓的動態追蹤能力。
- 3.穩定性試驗(24 小時持續運轉)：於日內尖峰與離峰負載變化下，驗證系統在水壓與能耗表現上的穩定性。
- 4.實場長期驗證(10 日連續運轉)：由場方監測並比對 AI 控制與手動控制之各項效能指標。經試運轉結果確認系統穩定，於 2025

年 3 月 17 日正式啟用。

### (三)操作介面與使用 AI

操作介面採用整合式儀表板，提供抽水機之水量、水壓、電功率與效率等即時監測資訊，並具備歷史曲線分析與報告匯出功能。操作人員可透過單一介面進行模式切換(自動/手動)、監視系統狀態、告警訊息與供水排程設定，並可即時追蹤目標達成狀況。

### 四、實場成果與效益分析

AI 自動控制系統於 2022 年 3 月 7 日正式上線運轉，截至同年 10 月 31 日已穩定連續運行逾 7 個月。本報告所呈現之能源效益、水壓穩定與操作維護成果，皆以此七個月之實場數據為基礎進行分析與驗證。目前系統仍持續穩定運作，將於 2026 年持續收集更長期資料，以進一步評估季節性變化與 AI 模型的長期學習成效。

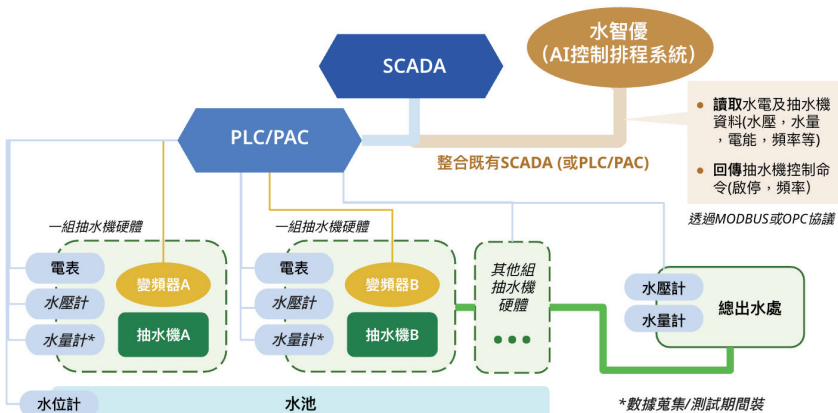


圖 3 AI 抽水機控制系統整合架構



圖 4 系統操作人員儀表板介面系統實際運轉畫面示範影片：<https://youtu.be/hkCyfdo6wXI>

表 1 該場導入前、後抽水機出水單位用電量與總效率比較

期間	日期	有效資料天數	平均每日供水量 (CMD)	平均流量 (m³/h)	平均體積揚程 (Mm³·m)	單位體積揚程用電量 (Wh/(m³·m))	平均出水單位用電量 (kWh/m³)	平均總效率 (%)
基準期(人工操作)	2025/2/8 - 2025/3/5	24	33099	1379	0.635	5.93	0.114	45.93%
AI 自動控制期	2025/3/6 - 2025/10/31	228	31684	1320	0.603	5.05	0.096	53.99%
改善幅度						14.9%	15.5%	17.5%



圖 5 該場 AI 自動控制期出水單位用電量趨勢與基準期比較

(一)能源效益

1.出水單位用電量比較

根據現場量測結果，僅就改善之抽水機組本身進行比較(非全場，以下數據均同)，AI 自動控制相較於人工操作，單位出水用電量 (kWh/m<sup>3</sup>) 平均降低 16%，能效提升為 18%。

其結果說明，AI 控制期間的平均供水量與水壓與人工操作期相當，顯示節能效益並非來自操作降壓或縮小供水範圍等條件改變，而是源自最佳化控制策略所產生的效率提升。

2.能耗與水力負載迴歸分析 (Q×H)

為確保基準比較的一致性，本研究採用

能耗對水力負載 (Q×H) 迴歸分析法 建立能耗基準模型。此方法可排除需求波動造成的偏差，是評估節能率 (Energy Saving Rate, %ER) 最具代表性且統計上穩健的分析方式之一。基準期 (人工操作) 與 AI 自動控制期迴歸模型的決定係數 (R<sup>2</sup>) 分別為 0.916 與 0.959，顯示模型擬合度高，結果具統計可信度。

為進一步檢視 AI 在不同水力負載下的節能表現，研究採用 k-means 聚類演算法將所有樣本依水力負載 (Q×H) 分為三群組 (低、中、高負載)。此分群可自動辨識各負載區間的特徵並避免主觀分界，使基準期與 AI 期在相同負載條件下進行能耗比較。

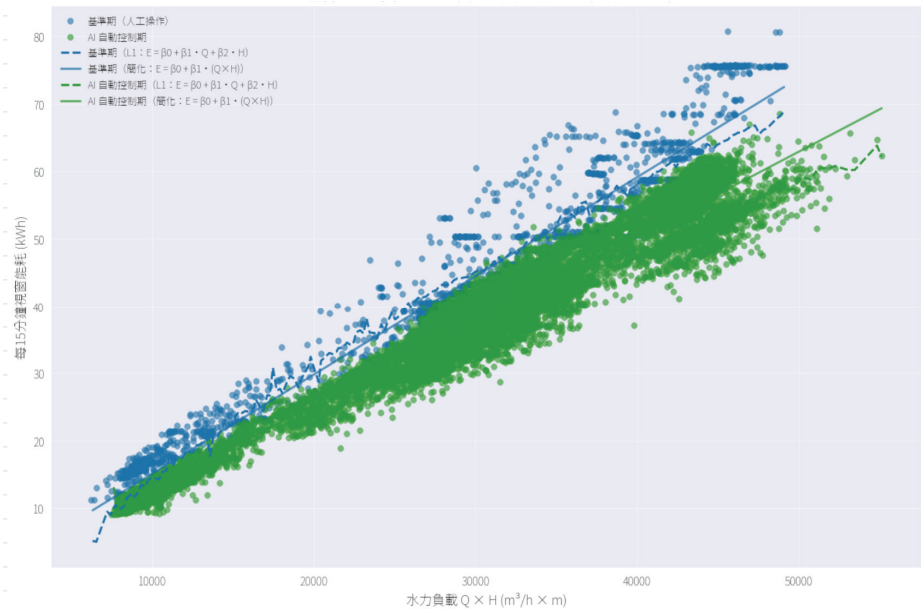


圖 6 基準期與 AI 控制期水力負載與能耗迴歸關係

表 2 該場不同水力負載分位下能耗與節能率比較

負載群組 (k-means 分 群)	水力負載 中心值 (m <sup>3</sup> ·m)	基準用電量 (kWh)	AI 用電量 (kWh)	節能量 (kWh)	節能率 (%ER)	AI 自動模式負載 分布 (%)	基準負載分 布 (%)
低負載	11333	21.12	15.28	5.84	27.67%	22.19%	10.51%
中負載	29382	41.15	37.43	3.72	9.05%	54.40%	56.89%
高負載	42173	59.89	54.07	5.82	9.72%	23.41%	32.61%

註：本表係以每 15 分鐘之數據做為計算基礎

為維持分析之統計穩健性，能耗迴歸與離群值篩選流程仍依據 IPMVP Option C (International Performance Measurement and Verification Protocol, 整體設施量測驗證法) 原則執行；惟在整體節能率估算時，本研究另以各期間實際負載分布為權重，以反映 AI 控制除提升單位能效外，亦透過運轉行為優化（如減少高負載時段）所達成之系統綜合節能效益。

各群組代表性統計結果如表三所示，顯示在低負載區間節能率最高 (27.67%)，中、高負載約 9%~10%。依各群組期間實際負載分布為權重，整體加權平均節電率為 19.4%，顯示 AI 系統在實際供水調控與負載優化下之總體節能效益更為顯著。

目前節能分析係以近 8 個月的運轉資料為基礎，AI 模型仍處於自我學習與權重優化階段。隨著累積至一年以上的完整運轉資料，系統可進一步學習季節性與用水週期特徵，持續修正預測誤差與控制策略，預期節能效益將可進一步提升。此外其一，現行對照基準中約有 60% 的資料來自操作人員依經驗，持續監看本研究系統所提供的即時效率數據並採手動控制之時段，該方式雖非自動

控制，卻已使能效表現優於過去僅以操作經驗為主、未配置能源管理系統 (Energy Management System, EMS) 的「純人工控制」狀態，倘以全 AI 控制其潛在節能效益可望更高。其二，因部分抽水機受限於特殊閥件尚未汰換致無法納入切換控制，倘該抽水機投入控制，將擴大實際求解空間，預估仍可再提升約 2% 的整體節能表現。

## (二)供水穩定性

本系統導入後，AI 控制可於每分鐘自動調整抽水機頻率，確保水壓與水量維持在設定範圍內，顯著提升供水穩定度。

- 1.供水目標達標率：系統長期維持高穩定度，約 95%~99% 的時間達成設定目標；其餘時間為程序切換、升降頻及目標追蹤等過程，或因個別不合理設定造成短暫偏差。即使在突發需求變化時，仍能於 5~10 分鐘內自動恢復至穩定區間。
- 2.水壓與水量穩定性：導入 AI 控制後，水壓與水量波動幅度明顯低於人工操作階段，全天水壓維持在設定目標值  $\pm 0.06 \text{ kgf/cm}^2$  以內，水壓曲線平滑，尖峰與離峰時段的波動均顯著縮小。
- 3.操作安全性：抽水機快速切換時水壓變化

幅度小於 0.4 kgf/cm<sup>2</sup>，每分鐘最大頻率調整量為 10 Hz。抽水機運轉電流始終在安全範圍內，最高測得值未超過試車紀錄之額定電流。

- 4.即時監控與異常應變：於 7 個月驗證期間，系統能即時偵測 15 種異常狀況（如感測器失效、通訊中斷、頻率異常等），並自動通知操作人員以迅速排除。每月平均發生 1~2 次異常事件，多數為供水或 IT 設備問題，並非 AI 系統故障。

### (三)操作維護效益

AI 自動控制導入後，操作模式由「人工主導」轉為「系統自動主導、人工例外管理」，大幅減輕人員監控與調整負擔，詳細分述如下：

- 1.自動化覆蓋率：在過去 7 個月中，正常運轉期間 97%的時間完全由系統自動執行。僅於乾旱季或特殊事件（如抽水機更換）等例外管理期間，操作員暫時接管以因應複雜決策情境。
- 2.控制覆蓋與效率：抽水機頻率與開關操作已達 100%全自動化，操作員可透過監控介面即時掌握運轉狀況。
- 3.手動介入次數：由以往每日需進行約 60~70 次水壓確認與變頻器調整（每次約 2 分鐘），降至今日每日僅 4~6 次於尖、離峰時期進行系統檢查（每次約 5 分鐘），使人工操作時長減少 80%以上，每日節省約 1 小時。
- 4.現場回饋：工程與操作人員皆確認系統在不同供水需求下，能精準且穩定運作，抽

水機切換快速且無過壓或異常操作情形。操作員普遍反映系統介面直觀，儀表板與日誌功能提升操作效率與供水連續性。

### (四)經濟性與推廣性

在導入成本與維運費用方面，本系統建置成本約 200 萬元（不含變頻器及抽水機與測試環境搭建），後續維護與優化費用估計每年約 42 萬元。其投資報酬率（ROI）以現階段節能率 15%計算，依研究對象之抽水機組每年用電量估計為 166 萬 kWh、以電價 4 元/kWh 計算：每年可節省電費約 107 萬元（節電量約 249,000 kWh）。截至 114 年 10 月止，7 個月運轉已累積節省電費約 67 萬元。扣除初始建置成本後，投資回收期約 2.5 ~ 3 年，長期投資報酬率（ROI）於 10 年間可達約 200 ~ 300%，具顯著經濟效益與擴散推廣價值。

## 五、結論與建議

本研究於台灣自來水公司宜蘭某淨水場完成「輕量化 AI 抽水機控制系統」之實場導入與 7 個月運轉驗證，結果顯示，本系統能在不變換既有 SCADA/PLC 架構的前提下，實現抽水機自動化控制、能源效率提升與供水穩定同步兼顧的目標。

其中，出水單位用電量降低 16%、能效提升為 18%、水壓維持於設定值 $\pm 0.06$  kgf/cm<sup>2</sup> 以內，整體加權平均節電率有 19.47%，並使操作員人工介入時數減少逾 80%。

此成果證明輕量化 AI 控制技術兼具節能、穩定供水與低導入門檻三大優勢，具明確工程可行性與推廣價值。系統採高模組

化架構設計，能快速整合現有設備，未來可於各類加壓站與淨水場推廣部署。

## 參考文獻

- 1.林志憲，〈利用大數據以人工智慧之水量需求預測〉，《自來水會刊》，第36卷第1期，2017。
- 2.林志憲，〈利用巨量資料優化間接供水抽水機排程〉，《自來水會刊》，第37卷第2期，2018。
- 3.王銘博，〈供水加壓系統節能之最佳化操作及管理〉，《自來水會刊》，第31卷第2期，2012。
- 4.B. Barán, C. von Lücken, & A. Sotelo: "Multi-objective pump scheduling optimisation using evolutionary strategies", Advances in Engineering Software, Vol. 36, 2005, pp. 39-47.

## 作者簡介

---

### 林志憲先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處工務課長  
專長：工業控制、監控、抽水機、人工智慧

### 王自立先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處操作課工程師  
專長：化驗、淨水操作

### 余俊江先生

現職：應科聯創辦人（營運長）  
專長：產品開發與專案導入之長期成效管理

### 洪鼎昇先生

現職：應科聯 IoT 軟體工程師  
專長：水務物聯網平台開發與系統整合

### 黃信明先生

現職：應科聯資料科學家  
專長：AI 模型開發與資料分析

### 蘇耆康先生

現職：應科聯資料科學家  
專長：AI 模型開發與資料分析

# 延性鑄鐵管接頭防脫及固定台改善探討

文/林晉禾

## 摘要

本文針對延性鑄鐵管接頭在通水狀況下受推力導致脫落的風險，探討國內現行固定台設計及防脫措施提出改善建議。自來水管屬壓力管，彎頭、丁字管、縮管、管末端及閥件處常因水壓變化產生推力，需透過混凝土固定台或約束接頭來抵抗防脫。臺北市區管線汰換工程受限於地下空間等條件以現行北水處固定台規範（訂於 2008 年）設置不易，且未涵蓋縮管、制水閥等部位並忽略 PE 套膜影響。本文依管件、覆土及固定台受力狀況，比較北水處、台水及日本規範，建議修訂北水處現有固定台尺寸表及採用約束接頭作為狹窄施工環境的替代方案，以提升施工彈性與安全性。

關鍵詞：固定台、約束接頭、接頭防脫、PE 套膜限制

自來水管為壓力管，當流體速度、管徑大小或管線方向發生變化時，會產生推力。這些推力通常作用於彎管、丁字管、管末端、制水閥（蝶閥）及縮管（大小頭）等管件處。若未能有效抵抗這些推力，可能導致接頭分離和管線漏水。為此，必須對這些位置的管線進行推力約束設計，主要方法包括提供混凝土固定台或使用約束接頭。臺北自來水事業處（以下簡稱北水處）刻正辦理之管線汰換工程，常因市區道路地下管線密布，道路施工收工時限管控，以致地下無空間或無充分時間依照施工規範設置固定台。北水處現有固定台設計圖說為 2008 年訂定，其後新增管

線埋設包覆 PE 套膜等規定時亦未同步修訂固定台施工規範，故參考國外研究及規定，對延性鑄鐵管接頭防脫及固定台設計提出相關改善建議。

## 一、管件於通水狀況力學分析

當管線改變方向（彎頭或丁字）、停止（管末端或關閉之制水閥）或尺寸改變（縮管）時，水會產生推力，國內常用固定台防止接頭脫接，各管件於通水狀況下所受推力及使用固定台約束產生之抵抗力分析如下：

### (一)各管件所受推力

1.彎頭：

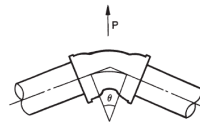


圖 1 彎管推力

$$P = 2 p A \sin \frac{\theta}{2}$$

P：推力

p：水壓

A：管內截面積

$\theta$ ：彎曲角度

2.丁字管：

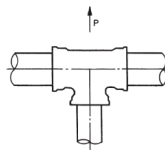


圖 2 丁字管推力

$$P = p a$$

P : 推力

p : 水壓

a : 支管內截面積

3.縮管(大小頭) :

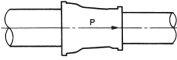


圖 3 縮管(大小頭)推力

$$P = p (A - a)$$

P : 推力

p : 水壓

A - a : 變化的管內截面積

4.管末端 :

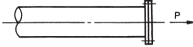


圖 4 管末端推力

$$P = p A$$

P : 推力

p : 水壓

A : 管內截面積

(二)水平彎管固定台設計

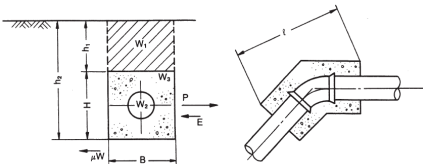


圖 5 水平彎管固定台設計

P : 推力

W : 固定台底部總重量 (= W<sub>1</sub> + W<sub>2</sub> + W<sub>3</sub>)

W<sub>1</sub> : 固定台上土壤重量

W<sub>2</sub> : 固定台內管線及水自重

W<sub>3</sub> : 固定台重量

μW : 摩擦力

μ : 混凝土塊與土壤間的摩擦係數

E : 固定台後的被動土壓力

$$E = \frac{1}{2} C_e \gamma (h_2^2 - h_1^2) \ell$$

C<sub>e</sub> : 被動土壓力係數

$$C_e = \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right)$$

φ : 土壤內摩擦角

γ : 土壤單位重

ℓ : 固定台投影長

對於水平彎管，固定台設計須符合：

$$P < \mu W + E$$

備註：固定台在地下水位以下應考慮浮

力

(三)立面彎管(向下彎)固定台設計

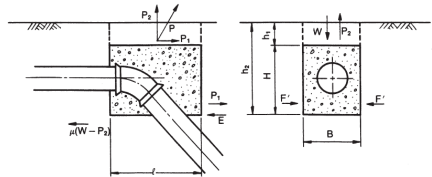


圖 6 立面彎管(向下彎)固定台設計

P : 推力

P<sub>1</sub> : 推力的水平分量

P<sub>2</sub> : 推力的垂直分量

μ (W - P<sub>2</sub>) : 摩擦力

E : 固定台後的被動土壓力

F : 固定台兩側的主動土壓力

固定台的設計應符合以下條件：

1.抵抗推力的水平分量

$$P_1 = P \sin \frac{\theta}{2} < \mu (W - P_2) + E$$

2. 抵抗推力的垂直分量

$$P_2 = P \cos \frac{\theta}{2} < W + F$$

$$F = 2F'$$

$$= \frac{1}{2} Ce' \gamma s (h_1^2 - h_2^2) 2(B + \ell) \mu$$

B：固定台寬度

ℓ：固定台長度

Ce'：主動土壓力係數

$$Ce' = \tan^2 (45^\circ - \frac{\phi}{2})$$

備註：固定台在地下水位以下應考慮浮力

(四) 立面彎管(向上彎)固定台設計

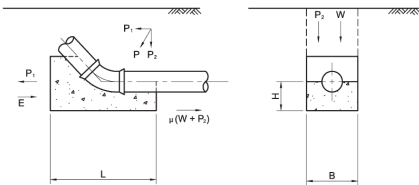


圖 7 立面彎管(向上彎)固定台設計

固定台的設計應符合以下條件：

1. 抵抗推力的水平分量

$$P_1 = P \sin \frac{\theta}{2} < \mu (W + P_2) + E$$

2. 抵抗推力的垂直分量

$$P_2 = P \cos \frac{\theta}{2}$$

$$\sigma = \frac{W + P_2}{BL} < \sigma_a$$

σ：土壤所需乘載力

σ<sub>a</sub>：土壤允許乘載力

當土壤承載力不足時可採用打樁等措施

施

備註：固定台在地下水位以下應考慮浮力

二、國內外固定台設置規定

茲比較北水處、台灣自來水公司(以下簡稱台水)、日本球墨鐵管協會之固定台設置規範如下：

(一) 臺北自來水事業處固定台規定

北水處管線工程施工說明第 02505 章自來水管埋設「固定臺之設置，除依照契約圖說施工外，凡水管承受較大水錘力易造成管件滑動、鬆脫之地點均應遵照工程司之指示加設固定臺，若因施作之管線有立即通水之需要，使得固定台混凝土未能達到預定強度，而導致接頭有鬆脫或漏水之虞時，應以鐵件固定之」「對於彎管或管線連接處，於施工完妥後，依規定或工程司指示施作固定台，以防管件鬆脫」。以下是契約圖說中常用之固定台型式，設計採預拌混凝土強度 210 kg/cm<sup>2</sup>：

1. 丁字管固定台 A-L

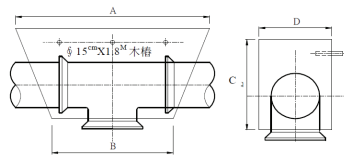


圖 8 丁字管固定台 A-L 尺寸圖

表 1 各口徑丁字管固定台 A-L 尺寸表

項目	A (CM)	B (CM)	C (CM)	D (CM)	E (CM)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	鋼板 (M <sup>2</sup> )	木棧 (包)	木橋 (支)
管徑 1200	280	160	200	180	20	5.90	6.70	26.55	3
1100	270	150	190	170	20	4.79	6.16	21.56	3
1000	260	140	180	160	20	4.60	5.70	20.70	3
900	250	130	170	150	20	3.80	5.15	17.10	3
800	230	125	150	130	20	2.38	4.03	10.71	3
700	210	120	130	120	20	2.00	3.65	9.00	2
600	180	110	120	110	20	1.50	3.00	6.75	2
500	140	100	110	100	10	1.10	2.61	4.95	
450	120	80	100	90	10	0.92	2.04	4.14	
400	110	60	90	80	10	0.60	1.60	2.70	
350	100	50	80	70	10	0.35	1.17	1.58	
300	90	50	70	60	10	0.25	0.93	1.13	
250	80	50	60	50	10	0.19	0.80	0.86	

2. 彎管 45° 平面固定台 B-L

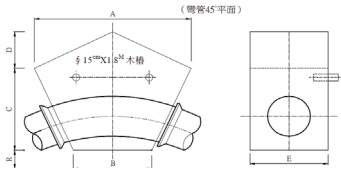


圖 9 彎管 45° 平面固定台 B-L 尺寸圖

表 2 各口徑彎管 45° 平面固定台 B-L 尺寸表

管徑	A (C.M.)	B (C.M.)	C (C.M.)	D (C.M.)	E (C.M.)	R (C.M.)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	鋼板 (M <sup>2</sup> )	水泥 (包)	木枋 (支)
1200	270	110	200	40	180	150	6.50	7.00	29.25	2
1100	240	104	190	40	170	150	5.73	6.37	25.79	2
1000	210	98	180	40	160	150	5.00	5.50	22.50	2
900	180	92	170	40	150	150	4.30	4.80	18.00	2
800	150	86	160	40	140	150	3.58	4.30	15.21	2
700	120	80	150	40	130	150	2.89	3.60	11.70	2
600	90	74	140	40	120	150	2.25	2.80	9.00	2
500	60	68	130	40	110	150	1.65	2.10	6.75	2
450	45	62	120	40	100	150	1.20	1.60	5.00	2
400	30	56	110	40	90	150	0.80	1.10	3.50	2
350	15	50	100	40	80	150	0.50	0.70	2.25	2
300	0	44	90	40	70	150	0.30	0.45	1.50	2
250	0	38	80	40	60	150	0.20	0.30	1.00	2

3. 彎管 45° 立面固定台 E-L

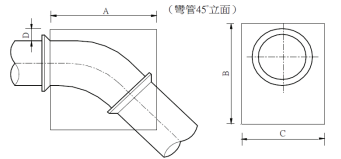


圖 10 彎管 45° 立面固定台 E-L 尺寸圖

表 3 各口徑彎管 45° 立面固定台 E-L 尺寸表

管徑	A (C.M.)	B (C.M.)	C (C.M.)	D (C.M.)	E (C.M.)	R (C.M.)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	鋼板 (M <sup>2</sup> )	水泥 (包)	木枋 (支)
1200	180	220	200	20	530	14.50	26.10	—	—	—
1100	170	210	190	20	509	13.22	22.91	—	—	—
1000	160	200	180	20	480	12.00	20.25	—	—	—
900	150	190	170	20	459	10.75	18.40	—	—	—
800	135	170	150	20	429	9.50	16.43	—	—	—
700	115	160	135	20	400	8.25	14.43	—	—	—
600	100	150	120	20	375	7.10	12.70	—	—	—
500	90	140	100	20	350	6.00	11.00	—	—	—
450	80	130	90	20	325	5.10	9.70	—	—	—
400	70	120	80	20	300	4.30	8.50	—	—	—
350	60	110	70	20	275	3.58	7.50	—	—	—
300	50	100	60	20	250	2.89	6.50	—	—	—
250	40	90	50	20	225	2.25	5.50	—	—	—
200	30	80	40	20	200	1.65	4.50	—	—	—
150	30	70	30	20	175	1.10	3.50	—	—	—

4. 彎管 45° 立面固定台 H-L

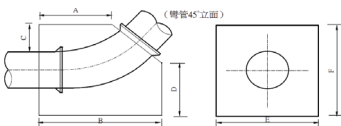


圖 11 彎管 45° 立面固定台 H-L 尺寸圖

表 4 各口徑彎管 45° 立面固定台 H-L 尺寸表

管徑	A (C.M.)	B (C.M.)	C (C.M.)	D (C.M.)	E (C.M.)	R (C.M.)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	鋼板 (M <sup>2</sup> )	水泥 (包)	木枋 (支)
1200	120	220	40	90	180	200	5.50	13.70	24.75	—
1100	110	210	40	90	170	190	4.93	12.52	22.19	—
1000	100	210	40	90	160	180	4.55	11.70	20.43	—
900	100	180	35	85	140	170	3.18	9.22	14.30	—
800	100	160	35	80	130	160	2.44	8.23	10.98	—
700	95	155	35	75	125	135	1.93	6.80	8.62	—
600	80	140	30	60	110	120	1.40	4.80	6.30	—
500	70	130	30	55	100	110	1.07	4.52	4.80	—
450	60	120	27.5	50	90	100	0.84	3.73	3.78	—
400	50	110	25	45	80	90	0.62	3.05	2.79	—
350	40	100	22.5	40	70	80	0.43	2.40	1.94	—
300	30	90	20	35	60	70	0.30	1.85	1.35	—
250	25	80	17.5	30	50	60	0.18	1.30	0.81	—
200	20	70	15	25	45	50	0.12	1.00	0.54	—
150	20	60	12.5	20	40	40	0.08	0.76	0.26	—

5. 管末端固定台 N-L

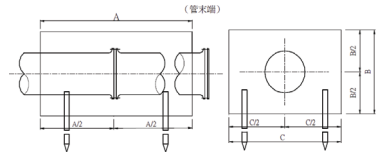


圖 12 管末端固定台 N-L 尺寸圖

表 5 各口徑管末端固定台 N-L 尺寸表

管徑	A (C.M.)	B (C.M.)	C (C.M.)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	鋼板 (M <sup>2</sup> )	水泥 (包)
1200	200	200	220	9.81	18.54	44.15
1100	200	190	210	8.81	17.10	39.65
1000	200	180	200	7.88	15.00	35.46
900	200	160	180	5.83	12.80	26.24
800	240	140	160	4.17	9.58	18.77
700	220	120	140	2.85	7.80	12.83
600	200	100	120	2.03	6.60	9.13
500	190	90	110	1.50	5.00	6.75
450	170	70	100	0.92	4.44	4.14
400	160	65	90	0.73	2.99	3.29
350	140	50	70	0.35	1.90	1.58
300	130	45	60	0.26	1.57	1.17
250	95	35	55	0.15	1.09	0.72
200	85	35	50	0.12	0.89	0.54
150	80	35	40	0.10	0.8	0.45

6. 彎管 90° 平面固定台 O-L

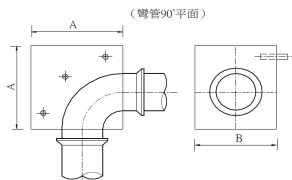


圖 13 彎管 90° 平面固定台 O-L 尺寸圖

表 6 各口徑彎管 90° 平面固定台 O-L 尺寸表

管徑	A (C.M.)	B (C.M.)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	鋼板 (M <sup>2</sup> )	水泥 (包)	木枋 (支)
1200	280	260	18.62	12.30	83.79	4
1100	270	240	16.07	11.06	73.35	4
1000	260	220	13.72	9.85	61.74	4
900	250	200	11.60	8.72	52.20	4
800	240	180	9.70	7.64	43.65	3
700	200	165	6.17	5.84	27.77	2
600	160	150	3.54	4.24	15.93	2
500	150	140	3.15	4.20	14.18	—
450	140	130	2.43	3.33	10.94	—
400	120	110	1.38	2.40	6.21	—
350	110	100	1.15	2.00	5.18	—
300	100	90	0.86	1.66	3.87	—
250	90	80	0.61	1.33	2.75	—
200	80	70	0.43	1.06	1.94	—
150	70	60	0.38	0.9	1.82	—

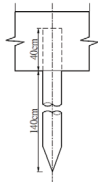


圖 14 打木樁示意圖

(二)台灣自來水公司固定台規定

台灣自來水管埋設工程施工說明書中自來水管埋設「凡水管裝接位置屬易被水沖擊或滑動地點，除依照設計圖施工外，均應遵照監造單位現場人員之指示加設固定台或以防脫接頭施工以確保管線安全」  
 「 $\phi 300\text{mm}$  以上(不含)大口徑管線，須以結構用混凝土澆置固定台，管末端之固定台澆注應延伸包覆至管體(勿僅包覆至短管或盲蓋)」。  
 103 年 5 月 2 日台水工字第 1030011031 號函略以「比較 CLSM 全管溝回填料與固定台兩者施工情形及注意事項： $\phi 300\text{mm}$  管徑 CLSM 時澆注長度若連續達 1.97 公尺時，核算 CLSM 抗拉力與管件接頭分力，安全係數達 6.74，安全無虞。 $\phi 300\text{mm}$ (含)以下丁字或彎管部分在安全無虞、成本較低及施工方便情形下，全管溝設計 CLSM 回填料無須再設置固定台」。以下是設計圖中固定台設計案例，混凝土設計強度  $210 \text{ kg/cm}^2$ ：

1.水平彎曲管固定台：

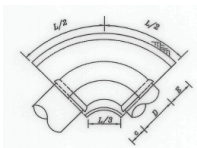


圖 15 水平彎曲管固定台  $\alpha=90^\circ 45^\circ$  平面

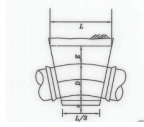
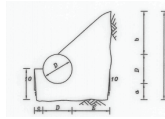


圖 16 水平彎曲管固定台  $\alpha=22\frac{1}{2} 11\frac{1}{4} 5\frac{5}{8}$  平面



註：固定台與土壤挖掘面密接

圖 17 水平彎曲管固定台側面

表 7 水平彎曲管固定台尺寸表案例

項目		水平彎曲 角度 $\alpha=90^\circ$					壓力 $p=10\text{kg/cm}^2$	
管徑	H(cm)	L(cm)	E(cm)	a(cm)	b(cm)	c(cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	鋼板 (m <sup>2</sup> )
400	100	355.3	20	20	40	8	0.966	0.640
900	190	747.8	45	35	75	18	8.260	2.000
900	200	948.1	45	35	75	18	11.363	2.820
項目		水平彎曲 角度 $\alpha=45^\circ$					壓力 $p=10\text{kg/cm}^2$	
管徑	H(cm)	L(cm)	E(cm)	a(cm)	b(cm)	c(cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	鋼板 (m <sup>2</sup> )
400	100	192.5	20	20	40	8	0.525	0.640
800	190	405.0	45	35	75	18	4.425	2.600
900	200	487.0	45	35	75	18	5.825	2.820
項目		水平彎曲 角度 $\alpha=22\frac{1}{2}^\circ$					壓力 $p=10\text{kg/cm}^2$	
管徑	H(cm)	L(cm)	E(cm)	a(cm)	b(cm)	c(cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	鋼板 (m <sup>2</sup> )
400	100	98.0	20	20	40	8	0.250	0.640
800	190	206.3	45	35	75	18	2.150	2.600
900	200	248.1	45	35	75	18	2.800	2.820
項目		水平彎曲 角度 $\alpha=11\frac{1}{4}^\circ$					壓力 $p=10\text{kg/cm}^2$	
管徑	H(cm)	L(cm)	E(cm)	a(cm)	b(cm)	c(cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	鋼板 (m <sup>2</sup> )
400	100	49.3	20	20	40	8	0.125	0.640
800	190	103.6	45	35	75	18	1.075	2.600
900	200	124.6	45	35	75	18	1.400	2.820

2.丁字管固定台

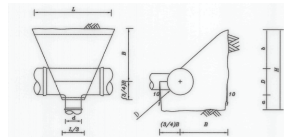


圖 18 丁字管固定台 平面 側面

表 8 丁字管固定台尺寸表案例

項目		主管口徑 $D=800\text{mm}$ ，支管口徑 $d$					壓力 $p=10\text{kg/cm}^2$	
管線 D(m)	H(cm)	L(cm)	B(cm)	a(cm)	b(cm)	c(cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	鋼板 (m <sup>2</sup> )
800x500	130	301.0	50	10	40	0	0.638	0.560
800x600	160	353.1	60	20	60	1	1.725	1.300
800x700	170	451.5	70	25	65	0	3.163	1.860
800x800	190	529.0	80	35	75	0	8.000	4.030

3.垂直向上彎管固定台

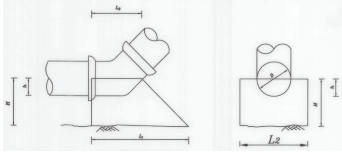


圖 19 垂直向上彎管固定台平面側面

表 9 垂直向上彎管固定台尺寸表案例

垂直向上彎 $\alpha=22\frac{1}{2}^\circ$		壓力 $p=8\text{kg/cm}^2$					
項目 管径	H(cm)	h(cm)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>3</sub> (cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	模板 (m <sup>2</sup> )
400	40.0	20.0	76.0	52.0	50.6	0.10	0.42
800	75.0	40.0	152.0	104.0	101.3	0.74	1.56
900	80.0	45.0	171.0	117.0	113.0	0.97	1.87
垂直向上彎 $\alpha=45^\circ$		壓力 $p=8\text{kg/cm}^2$					
項目 管径	H(cm)	h(cm)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>3</sub> (cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	模板 (m <sup>2</sup> )
400	40.0	20.0	110.0	70.0	73.3	0.21	0.56
800	75.0	40.0	220.0	140.0	146.6	1.18	2.10
900	80.0	45.0	247.5	157.5	165.0	2.07	2.52
垂直向上彎 $\alpha=90^\circ$		壓力 $p=8\text{kg/cm}^2$					
項目 管径	H(cm)	h(cm)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>3</sub> (cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	模板 (m <sup>2</sup> )
800	105.0	60.0	330.0	210.0	220.0	4.81	4.45

#### 4. 垂直向下彎管固定台

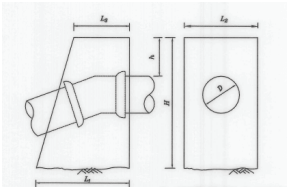


圖 20 垂直向下彎管固定台平面側面

表 10 垂直向下彎管固定台尺寸表案例

垂直向下彎 $\alpha=22\frac{1}{2}^\circ$		壓力 $p=8\text{kg/cm}^2$					
項目 管径	H(cm)	h(cm)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>3</sub> (cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	模板 (m <sup>2</sup> )
400	153.6	38.4	204.8	102.4	115.2	2.26	6.49
800	244.8	61.2	326.4	163.2	183.6	8.55	16.48
900	264.0	66.0	352.0	176.0	198.0	10.54	19.17
垂直向下彎 $\alpha=45^\circ$		壓力 $p=8\text{kg/cm}^2$					
項目 管径	H(cm)	h(cm)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>3</sub> (cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	模板 (m <sup>2</sup> )
400	178.2	49.5	231.0	125.4	132.0	3.76	8.71
800	283.5	78.8	367.5	199.5	210.0	14.47	22.05
900	307.8	85.5	399.0	216.6	228.0	18.35	25.99
垂直向下彎 $\alpha=90^\circ$		壓力 $p=8\text{kg/cm}^2$					
項目 管径	H(cm)	h(cm)	L <sub>1</sub> (cm)	L <sub>2</sub> (cm)	L <sub>3</sub> (cm)	混凝土 (m <sup>3</sup> )	模板 (m <sup>2</sup> )
800	329.4	91.5	427.0	231.8	244.0	17.43	25.77

#### 5. 盲蓋固定台

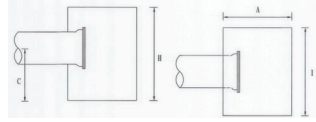


圖 21 盲蓋固定台剖面平面

表 11 盲蓋固定台尺寸表案例

管径	I(cm)	A(cm)	C(cm)	H(cm)	混凝土 量 (m <sup>3</sup> )	模板 面 (m <sup>2</sup> )
100	24	30	26	42	0.03	0.10
150	37	30	39	57	0.06	0.16
200	57	30	41	62	0.11	0.37
250	82	30	44	67	0.22	0.37
300	107	40	46	73	0.29	0.49
350	108	45	49	87	0.30	0.54
400	113	50	52	93	0.41	0.64
500	123	65	57	103	0.58	0.97
600	139	75	72	138	0.87	1.26
700	155	90	77	144	1.38	2.23
800	171	100	82	154	2.45	2.83
900	198	115	87	164	3.47	3.25
1000	224	125	92	174	4.52	3.95

#### 6. 大小頭固定台

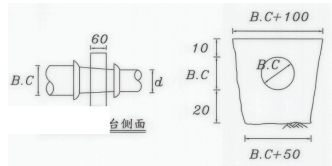


圖 22 大小頭固定台側面剖面

表 12 大小頭固定台尺寸表案例

B. C(mm)	d(mm)	混凝土 (M <sup>3</sup> )	模板 (M <sup>2</sup> )
900	800 ~ 500	5.60	1.21
800	700 ~ 450	4.67	1.01
700	600 ~ 400	3.89	0.84
600	500 ~ 300	3.24	0.70
500	450 ~ 250	2.75	0.63
450	400 ~ 200	2.52	0.60
400	350 ~ 150	2.30	0.60
350	300 ~ 150	2.00	0.51

#### (三)日本球墨鐵管協會固定台規定

日本グクタイル鉄管協會的球墨鑄鐵管管道設計標準手冊，在異形管部的防護檢討章節裡說明使用混凝土固定台時應考慮的條件有：管線口徑、異型管類型、設計水壓、埋設深度、覆土條件（土質、土壤單位

重、土壤與混凝土固定台間的摩擦係數、土壤內摩擦角等)。混凝土固定台的尺寸及形狀依照「日本水協會」準則之公式計算而來。

計算條件：

設計水壓：1.30 MPa

土壤單位重：16 kN/m<sup>3</sup>

混凝土單位重：22.5 kN/m<sup>3</sup>

土壤與混凝土的摩擦係數：0.5

土壤內摩擦角：30°

考慮固定台後的被動土壓力和垂直土壓力

安全係數：1.5 以上

以上參數計算出各管件在 0.6 及 1.2 公尺覆土深度及各種彎頭角度下，應使用的固定台尺寸，對照表如表 1 至 6。

1. 水平彎管：

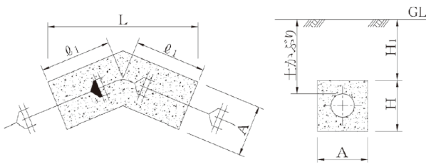


圖 23 水平彎管固定台

表 13 管線埋深 0.6M 混凝土固定台尺寸(水平彎管)

土かぶり 呼び径	呼び径 角度	積層コンクリート寸法 (m)					コンクリート 容積 (m <sup>3</sup> )	不平衡力 (kN)
		A	H	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	ε <sub>3</sub>		
75	5.5°	0.40	0.30	0.82	0.45	0.09	0.9	
	11.4°	0.40	0.30	0.84	0.45	0.09	1.7	
	22.1°	0.40	0.30	0.87	0.45	0.09	2.4	
	45°	0.40	0.30	0.71	0.45	0.09	6.8	
	90°	0.40	0.40	0.65	1.30	0.45	0.30	12.5
	5.5°	0.45	0.45	0.35	0.72	0.43	0.13	1.4
100	11.4°	0.45	0.45	0.35	0.74	0.43	2.9	
	22.1°	0.45	0.45	0.35	0.77	0.43	5.5	
	45°	0.45	0.45	0.45	1.00	0.43	0.17	10.9
	90°	0.45	0.45	0.95	1.66	0.43	0.36	20.1
	5.5°	0.50	0.50	0.40	0.85	0.43	0.18	2.9
	11.4°	0.50	0.50	0.40	0.85	0.43	0.18	5.7
150	22.1°	0.50	0.50	0.40	0.88	0.43	0.18	11.4
	45°	0.50	0.50	0.60	1.67	0.43	0.36	23.3
	90°	0.50	0.60	1.75	2.63	0.43	0.42	41.2
	5.5°	0.55	0.55	0.45	0.93	0.44	0.24	4.8
	11.4°	0.55	0.55	0.45	0.95	0.44	0.24	9.7
	22.1°	0.55	0.55	0.60	1.23	0.44	0.32	19.3
200	45°	0.55	0.60	1.20	2.63	0.44	0.42	29.9
	90°	0.55	0.65	2.45	4.14	0.44	1.40	69.9
	5.5°	0.60	0.60	0.55	1.13	0.44	0.33	7.4
	11.4°	0.60	0.60	0.55	1.15	0.44	0.33	14.8
	22.1°	0.60	0.60	0.60	1.69	0.44	0.40	29.4
	45°	0.60	0.60	1.00	3.19	0.44	0.87	57.6
300	90°	0.60	0.60	3.60	5.82	0.44	2.17	106.5
	5.5°	0.65	0.65	0.60	1.23	0.44	0.41	10.4
	11.4°	0.65	0.65	0.60	1.26	0.44	0.41	20.9
	22.1°	0.65	0.65	1.00	2.09	0.44	0.68	41.5
	45°	0.65	0.65	2.05	4.04	0.44	1.40	81.4
	90°	0.65	0.65	4.00	6.97	0.44	3.13	150.5

表 14 管線埋深 1.2M 混凝土固定台尺寸(水平彎管)

土かぶり 呼び径	呼び径 角度	積層コンクリート寸法 (m)					コンクリート 容積 (m <sup>3</sup> )	不平衡力 (kN)
		A	H	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	ε <sub>3</sub>		
100	5.5°	0.70	0.70	0.80	1.30	1.00	0.49	3.0
	11.4°	0.70	0.70	0.80	1.30	1.00	0.49	6.0
	22.1°	0.70	0.70	0.80	1.34	1.00	0.45	10.0
	45°	0.70	0.70	0.70	1.40	1.00	0.30	20.0
	90°	0.70	0.70	0.70	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	0.75	0.75	0.75	1.40	1.00	0.30	30.0
150	11.4°	0.75	0.75	0.75	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	0.75	0.75	0.75	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	0.75	0.75	0.75	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	0.75	0.75	0.75	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	0.80	0.80	0.80	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	0.80	0.80	0.80	1.40	1.00	0.30	30.0
200	22.1°	0.80	0.80	0.80	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	0.80	0.80	0.80	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	0.80	0.80	0.80	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	0.85	0.85	1.34	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	0.85	0.85	1.34	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	0.85	0.85	1.34	1.40	1.00	0.30	30.0
300	45°	0.85	0.85	1.34	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	0.85	0.85	1.34	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	0.90	0.90	1.26	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	0.90	0.90	1.26	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	0.90	0.90	1.26	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	0.90	0.90	1.26	1.40	1.00	0.30	30.0
400	5.5°	1.00	1.00	1.00	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	1.00	1.00	1.00	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	1.00	1.00	1.00	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	1.00	1.00	1.00	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	1.00	1.00	1.00	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	1.05	1.05	1.05	1.40	1.00	0.30	30.0
500	11.4°	1.05	1.05	1.05	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	1.05	1.05	1.05	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	1.05	1.05	1.05	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	1.05	1.05	1.05	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	1.10	1.10	1.10	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	1.10	1.10	1.10	1.40	1.00	0.30	30.0
600	22.1°	1.10	1.10	1.10	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	1.10	1.10	1.10	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	1.10	1.10	1.10	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	1.15	1.15	1.15	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	1.15	1.15	1.15	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	1.15	1.15	1.15	1.40	1.00	0.30	30.0
800	45°	1.15	1.15	1.15	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	1.15	1.15	1.15	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
1000	5.5°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	11.4°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	22.1°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	45°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	90°	1.20	1.20	1.20	1.40	1.00	0.30	30.0
	5.5°	1.25	1.25	1.25	1.40	1.00	0.30	30.0

2. 丁字管：

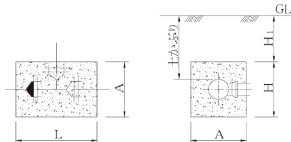


圖 24 丁字管固定台

表 15 管線埋深 0.6M 混凝土固定台尺寸(丁字管)

土かぶり 呼び径	呼び径 角度	積層コンクリート寸法 (m)					コンクリート 容積 (m <sup>3</sup> )	不平衡力 (kN)
		A	H	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	ε <sub>3</sub>		
75	5.5°	0.60	0.60	0.60	0.30	0.21	0.8	
	11.4°	0.60	0.60	0.60	0.30	0.21	1.6	
	22.1°	0.60	0.60	0.60	0.30	0.21	3.2	
	45°	0.60	0.60	0.60	0.30	0.21	6.4	
	90°	0.60	0.60	0.60	0.30	0.21	9.6	
	5.5°	0.65	0.65	0.65	0.30	0.21	9.6	
100	11.4°	0.65	0.65	0.65	0.30	0.21	19.2	
	22.1°	0.65	0.65	0.65	0.30	0.21	38.4	
	45°	0.65	0.65	0.65	0.30	0.21	57.6	
	90°	0.65	0.65	0.65	0.30	0.21	86.4	
	5.5°	0.70	0.70	0.70	0.30	0.21	86.4	
	11.4°	0.70	0.70	0.70	0.30	0.21	86.4	
150	22.1°	0.70	0.70	0.70	0.30	0.21	172.8	
	45°	0.70	0.70	0.70	0.30	0.21	259.2	
	90°	0.70	0.70	0.70	0.30	0.21	345.6	
	5.5°	0.75	0.75	0.75	0.30	0.21	345.6	
	11.4°	0.75	0.75	0.75	0.30	0.21	345.6	
	22.1°	0.75	0.75	0.75	0.30	0.21	345.6	
200	45°	0.75	0.75	0.75	0.30	0.21	518.4	
	90°	0.75	0.75	0.75	0.30	0.21	691.2	
	5.5°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	691.2	
	11.4°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	691.2	
	22.1°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	691.2	
	45°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	691.2	
300	5.5°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	1036.8	
	11.4°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	1382.4	
	22.1°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	1728.0	
	45°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	2073.6	
	90°	0.80	0.80	0.80	0.30	0.21	2419.2	
	5.5°	0.85	0.85	0.85	0.30	0.21	2419.2	

表 16 管線埋深 1.2M 混凝土固定台尺寸(丁字管)

土かぶり 呼び径	呼び径 角度	積層コンクリート寸法 (m)					コンクリート 容積 (m <sup>3</sup> )	不平衡力 (kN)
		A	H	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	ε <sub>3</sub>		
300	5.5°	1.10	1.10	1.10	0.50	1.87	7.5	
	11.4°	1.10	1.10	1.10	0.50	1.87	15.0	
	22.1°	1.10	1.10	1.10	0.50	1.87	30.0	
	45°	1.10	1.10	1.10	0.50	1.87	60.0	
	90°	1.10	1.10	1.10	0.50	1.87	90.0	
	5.5°	1.15	1.15	1.15	0.50	1.87	90.0	
400	11.4°	1.15	1.15	1.15	0.50	1.87	180.0	

3.管末端：

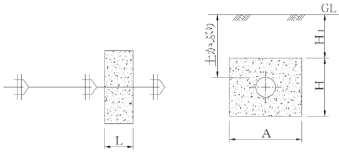


圖 25 管末端固定台

表 17 埋深 0.6 及 1.2M 混凝土固定台尺寸(管末端)

土ホリ径	埋深	基礎コンクリート寸法 (m)				コンクリート容積 (m <sup>3</sup> )	不平衡力 (kN)
		A	H	L	H <sub>1</sub>		
0.6m	75	0.65	0.65	0.30	0.32	0.12	5.8
	100	0.75	0.70	0.75	0.31	0.39	14.2
	150	1.30	0.75	1.30	0.31	1.05	29.2
	200	1.65	0.80	1.65	0.31	2.12	49.4
	250	2.10	0.85	2.10	0.31	3.62	73.5
	300	2.55	0.90	2.55	0.31	5.64	109.4
1.2m	300	1.60	1.60	1.60	0.30	3.02	142.0
	400	1.80	1.80	1.80	0.31	5.58	184.9
	450	2.00	2.00	2.00	0.44	7.64	232.1
	500	2.15	2.15	2.15	0.30	9.47	284.6
	600	2.50	2.50	2.50	0.30	14.84	495.5
	700	3.10	2.50	3.10	0.32	22.72	548.6
800	3.65	2.55	3.65	0.34	31.97	713.6	
900	4.15	2.65	4.15	0.34	42.77	903.5	
1000	4.55	2.80	4.55	0.32	54.09	1106.5	

日本延性鑄鐵管協會的資料指出，對於縮管、管末端及制水閥(蝶閥)等需要施作混凝土固定台的部位，為了確保管材與混凝土的附著力，不應安裝聚乙烯套膜。這是因為在這些位置，管軸方向會產生不平衡力，而混凝土固定台的設計目的即是抵抗這些力，因此良好的附著力至關重要。

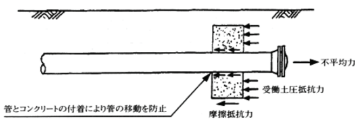


圖 26 管末端推力與固定台抵抗力示意圖

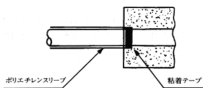


圖 27 管線包覆 PE 套膜於固定台處處理方式

三、國外以約束接頭防脫規定

約束接頭防脫的機制是利用管線接頭

的連接來抵抗軸向推力，將管線本身變成一個能夠傳遞和承受推力的結構，有效地將推力分散到一定長度的管段上，透過管壁與土壤之間的摩擦力和土壤的承载力來抵抗這些力

(一)約束接頭力學分析

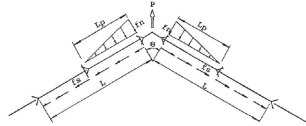


圖 28 水平彎管使用約束接頭推力及阻力圖

1.水平彎管受力

水平彎管所受推力及抵抗力如圖(圖 28)

P：推力

f s：摩擦力

f n：被動土壓力

L：約束長度

Lp：管線長度

2.覆土壓力

覆土壓力的計算方式隨覆土深度而不同，當至管線中心之覆土深度在 2 公尺以下時採 Prism 公式計算；深度超過 2 公尺時，覆土壓力取深度為 2 公尺時 Prism 公式與 Marston' s 公式計算值中之大者。

Prism 公式：Wf=γHc

Wf：覆土壓力(kN/m<sup>2</sup>)

γ：土壤單位重(kN/m<sup>3</sup>)

Hc：至管線中心之覆土深度 Hc= H1 +

D/2

H1：管頂覆土深度(m)

D：管線外徑(m)

Marston' s 公式：

$$W_i = \frac{\gamma}{2K \tan \phi} (1 - e^{-2K \tan \phi h} / B) B$$

$$K = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \quad \text{常數}$$

$\phi$  : 土壤內摩擦角(度)

B : 管頂管溝寬度(m)

### 3.被動土壓力

$$F_n = f_n L_p \cos \frac{\theta}{2}$$

$F_n$  : 被動土壓力(kN)

$f_n$  : 單位管線長之被動土壓力(kN/m)

$$f_n = \frac{1}{2} C_e' \gamma (H_2^2 - H_1^2) R$$

$$C_e' = \tan^2 (45^\circ + \frac{\theta}{2}) \quad \text{係數}$$

$H_2$  : 管底覆土深度(m)

R : 管線截面為圓形之折減率 (= 0.5)

$L_p$  : 管線長度(m)

### 4.摩擦力

$$F_s = 2 f_s L \sin \frac{\theta}{2}$$

$F_s$  : 摩擦力(kN)

$f_s$  : 單位管線長之摩擦力(kN/m)

$$f_s = \mu W f \pi D$$

$Wf$  : 覆土壓力(kN/m<sup>2</sup>)

$\mu$  : 管線與土壤間摩擦係數

### 5.約束長度

約束長度取決於摩擦力  $F_s$  加上被動土

壓力  $F_n$  需大於推力  $P$

$$P \leq (F_s + F_n) / S_f$$

$S_f$  : 安全係數(= 1.25)

如果  $L \leq L_p$  , 則將  $L_p$  替換成  $L$

$$L \geq \frac{2_f P}{2 f_s \sin(\theta/2) + f_n \cos(\theta/2)}$$

如果  $L \geq L_p$

$$L \geq \frac{S_f P - L_p f_n \cos(\theta/2)}{2 f_s \sin(\theta/2)}$$

## (二)各管件所需約束長度

以水壓 1.0 MPa 計算各口徑及管件形式防脫所需的約束長度(約束接頭使管線一體化)如下表 :

表 18 各口徑、管件所需約束長度表

DN	Restrained length L on each side (m)				
	90°bend	45°bend	22-1/2°bend	11-1/4°bend	Pipe end
80	2.9	1.8	1.1	0.6	5.2
100	3.4	2.1	1.3	0.7	6.2
150	4.8	3.0	1.8	1.0	8.7
200	6.3	3.8	2.3	1.3	11.1
250	8.6	4.6	2.7	1.5	13.4
300	10.8	5.4	3.2	1.8	15.6
350	13.0	6.2	3.6	2.0	17.8
400	15.0	8.3	4.0	2.2	19.8
450	17.0	10.2	4.4	2.4	21.8
500	18.9	12.1	4.8	2.7	23.7
600	22.5	15.8	5.5	3.0	27.3

計算條件：水壓 1.0Mpa、覆土深度 1.2m、土壤單位重 16kN/m<sup>3</sup>、覆土內摩擦角 30°、摩擦係數 0.3、管線長度 4m(DN80),6m(DN≥100)

部分機構亦有公開約束長度計算器，如美國 EBAA 公司的 EBAA Iron's Restraint Length Calculator(圖 29)，計算器是網頁版，無需下載或安裝軟體，使用者輸入管線材質、土壤類型、安全係數、管溝回填形式、覆土深度、測試壓力、管件類型、管線口徑及彎管角度等參數，系統會自動計算管線所需防脫長度，使用上相當彈性與方便。

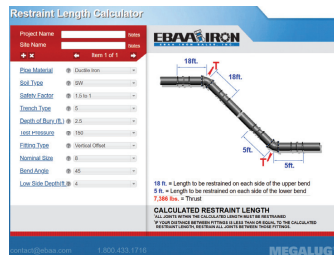


圖 29 EBAA Iron's Restraint Length Calculator

#### 四、國內固定台及接頭防脫改善建議

綜合固定台及約束接頭設計理論及國內外設置規定，對國內固定台設置及防脫規定提出一些修改建議，以利日後委請顧問公司計算修訂固定台尺寸及規範參考

##### (一) 台水固定台修改建議

1. 大小頭之固定台剖面形狀目前為上大下小之倒梯形，固定台、管體及覆土疊加之單位面積下壓力會較大，若土壤承载力不足會發生沉陷。
2. 盲蓋之固定台設置位置與其他規範不同，盲蓋設計以混凝土包覆，雖增加盲蓋防脫性，惟後續延管時需敲除盲蓋周邊混凝土，增加日後施工困難度。
3. 水平彎曲管固定台  $\alpha=90^\circ$ 、 $45^\circ$  固定台背土處設計為弧狀，現場組模較為不易。

##### (二) 北水處固定台修改建議。

1. 北水處未訂定縮管(大小頭)及制水閥之固定台設置規定，建議增訂。
2. 彎管  $45^\circ$  立面固定台 H-L(垂直向上彎)不須以混凝土包覆整個彎管，彎管上方不包覆混凝土可降低向下之壓力，減少土壤承载力不足發生沉陷之風險。
3. 日本延性鑄鐵管協會規定縮管(大小頭)、管末端及制水閥(蝶閥)等需要施作混凝土固定台的部位不應安裝 PE 套膜(管線包覆 PE 套膜，管線抵抗防脫之摩擦力僅剩原有 70%)，建議北水處增訂。
4. 北水處彎管  $45^\circ$  立面固定台 E-L、H-L 在管線口徑達 150mm 就要設置固定台，相較於台水  $\phi 300$ mm(含)以下丁字或彎管在 CLSM 澆注長度連續達 1.97 公尺時，無須再設置固定台(註：台水埋設管線為全管溝以

CLSM 回填，北水處管線周邊係回填砂，上層再回填 CLSM)，北水處固定台設置規定較為保守，於市區道路汰換管線時北水處執行固定台設置規定不易，建議委請顧問公司重新計算修訂。

5. 日本延性鑄鐵管協會針對不同覆土深度制定固定台尺寸表，建議北水處依市區道路常用管線埋設覆土深度(0.7、1.2m)委請顧問公司分別制定固定台尺寸表，縮小埋設較深管線之固定台尺寸，方便於市區道路施工。
6. 北水處丁字管設須置固定台之條件應指明為丁字管支管之口徑大小，北水處丁字管固定台 A-L 設計圖目前未明確標示，筆者審查新進同仁設計圖或竣工圖時，經常發現同仁以丁字管本管口徑大小當作是否需設置固定台的條件。

##### (三) 建議引進約束接頭並訂定規範

在市區道路埋設自來水管線常因地下管線密布或收工時限管控，以致無地下空間或充分時間依照施工規範設置固定台，或管線埋設處下方為軟弱土層，設置固定台會加大向下壓力導致管線不均勻沉降等不適合設置固定台的狀況，可在管件前後約束長度內使用防脫接頭，使管線連接成一體，以較長之管線長度及較大之摩擦面積達到防脫效果。防脫管材除了耐震性最高的 NS 型(圖 30)、GX 型接頭鑄鐵管外，亦有國內興南鑄造廠改良 K 型接頭而來的 K-bar 接頭(圖 31)，其構造係在管材出廠前於管尾處加鉚一道同為延性鑄鐵材質之擋環，於工地組裝時利用接合螺帽將 T 型螺栓與不鏽鋼螺栓串連，使該擋環與承口串連，當接頭拉脫超過容許拉伸量時，擋環及螺栓開始發揮作用避

免接頭繼續拉開，抵抗承插口間可能過大之拉脫位移，同時仍保有該型接頭之容許位移及撓角，依據 ISO16134 標準之耐震分級，其抗脫力從原來不具拉脫力之 D 級提升至 B 級水準，惟其施工性與 NS 型管等均存在相同問題，即組裝工序繁瑣，施工工率低致工程費用增加，另一個問題為在工地現場切管後，切管後新的管尾須於工地額外加工(例如：K-bar 接頭須補銲一道擋環)，現場銲接等施工品質較難掌握。

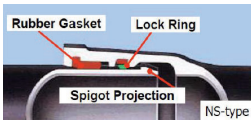


圖 30 NS 型接頭鑄鐵管構造

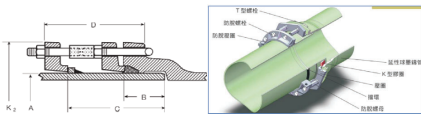


圖 31 興南鑄造廠 K-bar 接頭

國內外亦有鑄鐵管機械接頭脫防特殊壓圈之產品(例如：美國 EBAA 公司的防脫機械接頭)(圖 32)，惟因管線尾端無耐震管線之倒鉤或擋環等構造，防脫能力較差，採用時須確認滿足設計需求。

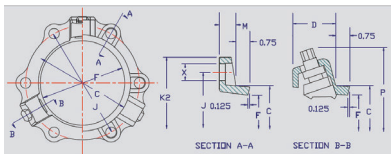


圖 32 美國 EBAA 公司防脫機械接頭壓圈

#### (四)其他避免管件脫接注意事項

1.正確的安裝步驟（如橡膠圈的擺放、螺栓

的均勻鎖緊和扭力控制）都對接頭的性能和推力抑制能力至關重要。

- 2.管溝回填砂應分層確實夯實，防止管線周圍出現空隙，從而提供均勻支撐和摩擦力來抵抗推力。
- 3.正確安裝 PE 套膜確保與管身緊密貼合，避免地下水滲入，有助於維護管線在外部環境下的穩定性。

#### 參考文獻

- 1.KUBOTA DUCTILE IRON PIPELINE DESIGN MANUAL，KUBOTA Corporation，Chapter 8 Thrust Anchoring
- 2.ダクタイル鉄管管路配管設計標準マニュアル，日本ダクタイル鉄管協会，2.7異形管部の防護検討
- 3.[https://www.jdpa.gr.jp/qa/basic/search/search\\_47.html](https://www.jdpa.gr.jp/qa/basic/search/search_47.html)
- 4.管線工程施工說明，臺北自來水事業處，固定台設計圖，2008年
- 5.自來水管理設工程施工說明書，台灣自來水公司，2024年
- 6.新泰塩仔圳重劃1-2區設計圖，黃怡順，台灣自來水公司
- 7.自來水會刊：吳世紀，延性鑄鐵管耐震能力評估及發展，第33卷第3期
- 8.自來水配水管材選用策略之研究－以北水處供水管網為例，107年
- 9.<https://ebaa.com/calculator/>
- 10.<https://ebaa.com/products/dip>

#### 作者簡介

##### 林晉禾先生

現職：臺北自來水事業處東區營業分處股長

專長：管網改善、小區計量實務等。

## 用戶外線治理的工程驗證機制

文/林子立、顧培正、鍾伯均、林璟鴻

### 摘要

台水公司自 102~111 年執行大規模的降低漏水率專案計畫，包括管線汰換、水壓管理、修漏速度及品質、主動漏水控制及圖資維護閥栓測校等五大項，其中主動漏水控制項包括分(小)區建置，管線汰換項則包括用戶外線。

惟用戶外線需汰換至水表箱內之止水栓前管套節，較能顯現成效，在都會區之水表箱大部分皆設於騎樓，屬於用戶私有地，該段如遭拒換外線，僅能施設至排水溝前之公共用地，如何將該段舊有外線，納入後續的工程契約內，以執行明確的驗證機制，來確認「無漏水」及「未有竊水管」，將有利於後續降低漏水及提升售水率工作的持續推動。

關鍵字：檢漏、管線汰換、提升售水率

### 一、前言

台水公司於 1974(民國 63)年元旦成立，供水普及率僅 41.03%，迄 1983(72)年間主要為自來水新(擴)建工程，提高普及率，至 1993(82)年間則以提升出水能力為要務，迄 2003(92)年間著重於設備維護管理、提升飲用水質。

於降低漏水工作的推動方面，2003(92)年以前係以計畫性的「檢修漏作業」及「汰換逾齡管線」作為管網維護之主要工作，2004(93)~2012(101)年間共投入 430 億元的降

低漏水率專案計畫。2013(102)至 2022(111)年續執行近 796 億元的降低漏水率專案計畫，包括管線汰換、水壓管理、修漏速度及品質、主動漏水控制及圖資維護閥栓測校等五大項工作，其中主動漏水控制包括分(小)區建置，管線汰換亦含用戶外線更換，本計畫後續延至 2024(113)年，併接續辦理約 751 億元的 2025(114)至 2032(121)年降低漏水率計畫。

惟用戶外線需汰換至水表箱內之止水栓前管套節，此項工作在鄉村型的地區，其水表箱大部分設於私有地，都會區之水表箱則依規均設於騎樓，騎樓地之鋪面有設大理石、洗石子、磁磚等屬於用戶私有地，如遭拒絕更換外線，僅能施設至排水溝前之公共用地，故如何將該段舊有外線，納入後續的工程契約內，以執行明確的驗證機制，來確認「無漏水」及「未有竊水管」，將有利於後續降低漏水及提升售水率工作的持續推動。

### 二、檢漏在降低漏水與提升售水率之實務工法

在一個可正確顯示售水率的供水系統，不論該供水系統的區域範圍是大是小，要有效降低其漏水率或提升售水率，規劃設置分區計量，並以封閉的有效小區計量，來取得的售水率數據，據以執行後續包括管線汰換、檢修漏及竊水查緝等的種種過程務實工法，計量小區確是驗證前述成效的最佳作

法。

在小區的標準作業工法(SOP)過程中,透過小區管網內已設置的制水閘來進行啟閉動作,據以進階分析夜間瞬間流量的變化,確認嚴重的漏水管段,即分段計量(STEP TEST)是國際自來水界普遍的運用工法,其過程不論是採用關閉用戶止水栓的直接法或不關閉用戶止水栓的間接法,皆也僅能限縮至數百公尺的管段距離,雖在複雜的現場環境條件下,可再新增設制水閘,亦不失為降低漏水過程中的可行做法之一,但是,屬於鄉村小道的長距離小管外線,則可採簡易臨時性的小表管段計量工法(圖 1~3)驗證之。



圖 1 小巷內以  $\phi 20$  水表計量測試



圖 2 分段開挖以管帽封管計量測試



圖 3 檢出疑似  $20 \times 13\text{mm}$  竊水分歧管,斷管接  $\phi 20$  直管後,最小率為  $0\%=(0+21)$

至於對在草叢內或位置不明之小管徑外線是否漏水,亦可採此小表計量工法,經斷管後以伸縮接頭連接該不明管端,開啟外接水源,通過小表三角指針是否轉動,不須測漏器或偵漏儀器,先行運用簡易設備,即可驗證該不明管線如屬漏水或竊水(圖 4~7),再行後續處理。

近年來隨著科技的進步,市面上已有多款可檢視管線內部包括管壁狀態的內視鏡,並持續提升螢幕的清晰度,其亦已納入檢漏班的標準檢漏設備之一,包括「類管內健康狀況」檢視的  $\phi 50\sim 150\text{mm}$  管徑,可歸



圖 4 不明管線有漏水疑慮



圖 5 斷管後以伸縮接頭連接漏水疑慮管



圖 6 以攜帶型小表計量箱，引水測試



圖 7 通過小表三角指針是否轉動，以計量該不明管線之流量

屬於中管內視鏡，及  $\phi 40\text{mm}$  以下的用戶小

管內視鏡，利於輔助現場的漏水檢測或竊水管檢視，並已納入台水學員訓練竊水管檢視課程(圖 8~10)。



圖 8 檢測竊水管訓練課程-簡易內視



圖 9 檢測竊水管訓練課程-實作內視



圖 10 檢測竊水管訓練課程-實作檢視出竊水分歧管

### 三、管線汰換工程對用戶拒絕汰換之解決方案探討

包括用戶外線的管線汰換工程，用戶外線需汰換至水表箱內之止水栓前管套節，此項工作在鄉村型的地區，其水表箱大部分設於私有地，都會區之水表箱則依規均設於騎樓，騎樓地之鋪面有設大理石、洗石子、磁磚等屬於用戶私有地，如遭拒換外線，僅能施設至排水溝前之公共用地，故該段舊有外線，如何有明確的驗證機制，來確認「無漏水」及「未有竊水管」，將有利於後續降低漏水及提升售水率工作的持續推動。

前述確認「無漏水」及「未有竊水管」等兩項工程盲點，或可將檢漏實務的「漏水計量」及「竊水管內視」工法，納入工程契約內單項計價，由承包廠商施作，在取得明確的漏水數據後，來說服用戶，同意將埋設於私有地之舊管外線，一併工程汰換。

#### (一)漏水計量：

僅以施作攜帶式的計量 13mm 水表及兩端以快速接頭及小管徑可繞式接頭連接舊管外線(圖 11)，關閉用戶水表止水栓，輔以小型儲水塔引水計量、即可觀測攜帶型水表，驗證併供用戶即視舊有外線是否漏水。

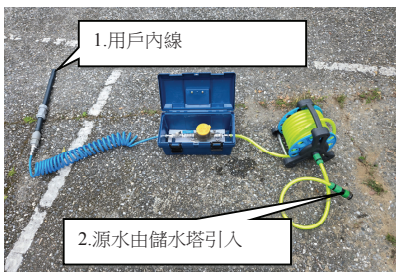


圖 11 進水端源自小型儲水塔，引水至輪座軟管，經小表計量箱，出水至用戶舊管

一般用戶之管徑為  $\phi 13$ 、 $\phi 20$  及  $\phi 25$ mm 等三種管徑，即需另備前述三管徑之異徑快速接頭及可繞式接頭(圖 12)，備供隨時更替。



圖 12 備三組小管徑之異徑快速接頭及可繞式接頭，可視舊管外線管徑，即時更換連接

#### (二)竊水管內視：

用戶外線經過公共排水溝至水表，一為施經水溝頂蓋下端進入水表箱(圖 13)，另一為埋設於水溝底再進入水表箱(圖 14)。

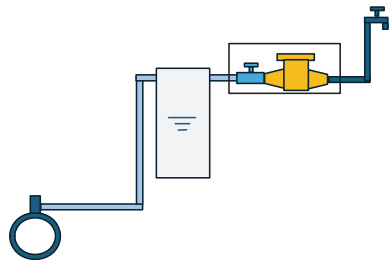


圖 13 用戶外線經水溝頂蓋下端進入水表箱

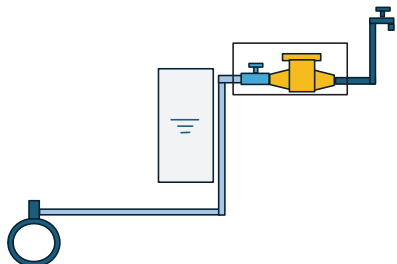


圖 14 用戶外線經水溝底進入水表箱

於汰換工程施設時，該舊有外線已呈無水狀態，首先於下游端拆卸用戶水表及止水栓，再於上游端近水溝之用戶舊有外線斷管，就上下游兩端，分別施以小管內視鏡，由兩端入內檢視(圖 15、圖 16)，即可檢視是否有竊水分歧管。

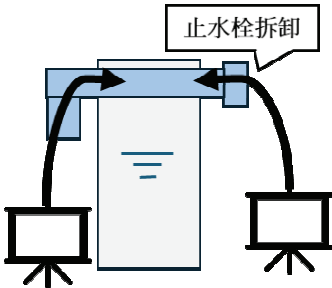


圖 15 用戶外線經水溝頂蓋下端進入水表箱者，由上游端切斷露明管內視、止水栓拆卸下游端內視

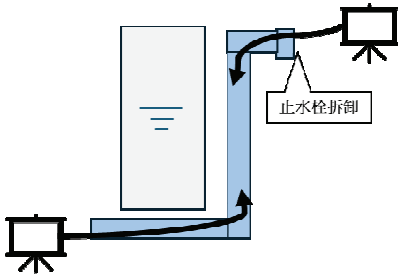


圖 16 用戶外線經水溝底進入水表箱者，由上游端切斷露明管內視、止水栓拆卸下游端內視

#### 四、結論

本探討在實務上確屬可行，主要在確認「無漏水」及「未有竊水管」兩項工程盲點，透過「小表計量」及「小管內視」等工作，納入管汰工程單項內計價，可畢其功於一役

的由工程廠商施作、驗證。

#### 參考文獻

1. 台灣自來水四十週年專輯，2014年1月，台灣自來水股份有限公司。
2. 竊水檢測實務－內視鏡工法初探，林子立、蘇隆盛，2015年9月，中華民國自來水協會季刊

#### 作者簡介

##### 林子立先生

現職：台灣自來水公司退休人員協會理事  
專長：漏水檢測及分區計量診斷與提升售水率

##### 顧培正先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課檢漏主辦  
專長：漏水檢測、竊水檢測及分區降低漏水

##### 鍾伯均先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課檢漏技術士  
專長：漏水檢測、竊水檢測及分區降低漏水

##### 林環鴻先生

現職：台灣自來水公司第九區管理處操作課檢漏技術士  
專長：漏水檢測、竊水檢測及分區降低漏水

# AI 輔助檢漏技術應用於西嶼供水系統之效益研析

文/林聖桓、張敬悅、蔡博淵、曹宜政

## 摘要

澎湖西嶼供水系統曾於民國 102 年漏水量居高不下，台灣自來水股份有限公司(以下簡稱台水公司)於民國 103 年 5 月迄 105 年 4 月調派專業檢漏人員進場作業，於 105 年售水率提升至 86.54%。本案 114 年 9 月漏水復原致售水率下滑至 52.71%，又遇小池水庫乾涸，造成 300CMD 缺口。為此台水公司總管理處及第七區管理處於 114 年 9 月陸續進場檢漏並成立「西嶼專案」，截至 114 年 11 月底為止本次專案總計投入 147 工作日，並引進台水公司與工研院開發之 AI 輔助檢漏技術檢出 39 筆漏水案件。專案展現極其顯著之成效：無收益水量由 114 年 9 月至 11 月約降低 684 CMD。經濟效益評估，換算每日降低供水損失價值為 4.3 萬元以上，專案總成本(67.7 萬元)僅需約 15.5 天即可全數回收，其產出的年化價值超過 1,500 萬元，戰略意義等同於少建一座中型海淡廠。

關鍵字：檢漏人員、西嶼專案、AI 輔助檢漏技術

## 一、澎湖西嶼地理環境與供水穩定之戰略意義

澎湖群島位處台灣海峽要衝，受限於地理破碎化與氣候極端性，其供水系統之營運難度遠高於台灣本島。西嶼供水系統(以下簡稱本系統)作為澎湖主要供水網路之一，其供水韌性不僅關乎當地居民的日常生活，更直接影響澎湖觀光產業的永續發展。根據現狀分析，本系統在常態期間之日供水

量約為 2,770 CMD，然而隨季節性觀光活動波動，於旅遊旺季或春節等特殊節慶前，用水需求會激增至 3,200 CMD。這種高度的需求波動性，要求管網必須具備極高的供水穩定度與餘裕量。

本系統的水源結構高度依賴非傳統水源，包含海淡水(常態 750 CMD)、鹽淡水與深井水(合計 1,720 CMD)，以及脆弱的湖庫水(小池水庫，約 300CMD)。這種水源構成顯示，本系統在面對極端氣候(如乾旱)時，緩衝能力極其有限。114 年 10 月的供水壓降事件即為明證：突顯了在水源開發極其昂貴(海淡水)的離島環境下，透過降低漏水率來「找回流失水量」具備極高的公司治理戰略意義。

## 二、西嶼系統產銷數據與漏水現況之深度診斷

針對西嶼系統 110 年至 114 年之產銷數據進行回顧詳表 1，可以觀察到一項極具警示性的趨勢：供水量逐年攀升，而售水量卻呈現停滯甚至下滑。110 年底，12 月移動合計供水量約為 955,240 立方公尺，至 114 年 9 月已增加至 1,082,590 立方公尺；與此相對的是，售水率由 67.67% 下降至 58.53%。

此數據顯示管網漏損已影響西嶼供水能力，對西嶼的穩定供水目標構成了實質威脅。若要度過農曆春節用水尖峰，以過去旺季用量較常態用水約增加 430CMD 來估算，常態供水量目標應降至 2,340CMD(過去

2,770CMD 扣除旺季激增 430CMD)較能滿足西嶼地區供水波動。

表 1 西嶼系統移動售水率

年度	12 個月移動合計供水量 (m <sup>3</sup> )	12 個月移動合計售水量 (m <sup>3</sup> )	12 個月移動合計售水率 (%)
110 年	955,240	646,401	67.67%
111 年	976,810	660,401	67.61%
112 年	971,580	675,209	69.50%
113 年	1,058,130	644,689	60.93%
114 年 9 月	1,082,590	633,623	58.53%

### 三、專案執行動態與人力投入效益分析

114 年專案已統計 (9/17-11/30) 總投入工時為 147.0 工作日 (以人\*工作時數計) 詳表 2。專案實質成效：供水量下降數據供水量變化趨勢：114 年 10 月 18 日(最高峰):3,045 CMD。目前現狀：供水量已穩定維持於 2,361 CMD。成功降低供水損失 684 CMD。

表 2 專案作業項目投入分布統計表

作業類別	投入工時 (日)	工時佔比 (%)	主要實體作業量指標
1.檢漏作業	103.8	70.6%	配水管 196,400 M <sup>1</sup>
2.計量調查	16.8	11.4%	給水管 11,100 M <sup>1</sup>
3.其他現場作業	18.3	12.4%	止水栓 4,271 只 <sup>1</sup>
4.確認作業	5.1	3.5%	漏水點實地確認 27 人次
5.其他事項	3.0	2.0%	行政與雜項整備 <sup>1</sup>
合計	147.0	100%	確認漏水 27 件 <sup>1</sup>

經濟效益深度分析：投資報酬率與虛擬水源價值本次專案投入之 677,807 元成本，與找回之 684 CMD 水量相比，展現出顯著的財務與策略價值。

#### (一)生產成本節省分析 (OPEX Saving)

澎湖地區八成以上水源由海水淡化廠供應，其平均海淡水購水成本推估為每度 60 元以上。

如假設以西嶼海淡水 114 年 7 月海淡水水成本 63.73 元，估算每日回收價值為 684CMD\*63.73 元/噸=43,591 元/天，年化為 43,591\*365=15,910,715 元，以截至 114 年 11 月底本專案總花費為 677,807 元，除上每日回收價值，約 15.5 天即可抵消所有跨海動員的人力與差旅費用，效益驚人，詳表 3。

#### (二)替代水源價值 (Virtual SWRO Plant)

西嶼興建 6,000 噸海淡廠之總經費約達 5 億至 10 億元。本次專案找回之 684 CMD 水量，約佔西嶼系統常態供水量的 23%，相當於在免除土地開發、環評與興建成本的前提下，為系統額外減少建造一座「日產 650 噸的海水淡化廠」。

數據分析顯示，114 年 10 月份檢出案件是產出最高峰，單月確認漏水 13 件，這與該月「確認作業」工時佔比最高 (5.22%) 正相關，反映出台水公司針對西嶼供水系統的供水穩定努力及持續性的高強度巡檢對離島管網的修復貢獻。



表 3 西嶼專案效益比較表

項目		2014 西嶼專案(執行完畢)	114 西嶼專案(持續)
作業期間	計算式	2014/05-105/04	114/9~114/11
工作人日		1564	147
A 作業前系統無收益水量(CMD)		1104	1266
B 作業後系統無收益水量(CMD)		471	582
C 減少無收益水量(CMD)		633	684
D 年減少無收益水量(m <sup>3</sup> )	C*365	231,045	249,660
E 動員人事費		3,801,958	246,764
F 專案委員費		0	153,717
G 差旅費		3,201,313	277,326
H 費用	E+F+G	7,003,271	677,807
I 海淡購水成本		62.72	63.73
J 每日回收價值	H/C	39,702	43,591
K 減省購水成本	I*D	14,491,142	15,910,832
L 效益	K-H	7,487,871	15,233,025
M 動員成本抵銷天數(日)	J/H	176	15.5
N 每減少 1CMD 成本	H/C	<b>11,064</b>	<b>991</b>
O 每減少 1m 成本	H/D	<b>30.31</b>	<b>2.71</b>
P 提升售水率		28.21%	16.90%
Q 檢修後售水率		86.54%	75.30%



圖 1 大池 150mm PVC 環向裂縫型態

#### 四、檢出案件之空間分布與管材劣化特徵

本專案處理之 39 筆案件中，內坵小區（9 筆）與池東池西小區（7 筆）為熱區，詳表 4，檢出案件 89.7% 為 PVC 材質。其中包含兩件 150 mm（竹灣 628、大池 652）及一件 50 mm（合界 690）之關鍵配水管破裂。中大型破管的及時修復是供水量大幅下降 684 CMD 的主因。

值得關注的是「地上漏水」佔比約 51% 為表位另件的老化腐蝕滲漏，詳圖 1，多分布於赤馬與內坵一帶，可能表示澎湖特殊的離島環境包含高鹽分的腐蝕性土壤、劇烈的海風震動對於表箱內金屬另件的壽命極具

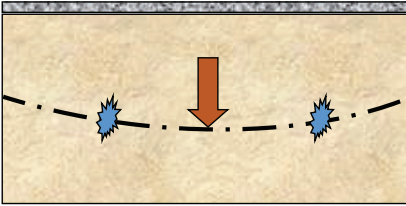


圖 2 外力造成環型裂縫示意圖

表 4 專案期間小區管網漏水案件分布

小區名稱	案件總數	地下漏水(件)	地上漏水(件)	其他/水表(件)	主要管材
內坵小區	9	2	6	1	PVCP
池東池西小區	7	1	5	1	PVCP
外坵小區	6	1	1	4	PVCP
赤馬小區	6	0	6	0	PVCP
大池小區	5	4	1	0	PVCP
竹灣小區	4	2	0	2	PVCP
二坎小區	1	0	1	0	PVCP

殺傷力。另一方面，「地下漏水」僅佔 28.2%，本次事件 2 件 150mm 大量漏水皆產生罕見之環向裂縫(Circumferential cracking)型態，經觀察本公司塑膠管裂縫以縱向裂縫(Longitudinal cracking)居多詳圖 2，國外文獻 1 指出此種裂縫多數為是管內水壓與材料抗壓強度之間作業的結果，本次西嶼事件 2 件 150mm 大量漏水皆產生本公司較少出現之環向裂縫如圖 3、4，值得探討。相關文獻 1 指出環向裂縫通常是因管線受到了超出其抗變能力的軸向拉應力或彎曲力矩如圖 5。

在檢出的 39 筆案件中，高達 89.7%的案件為 PVCP 管材破裂，顯示塑膠管為漏水大宗。



圖 3 表箱內另件的老化腐蝕滲漏



圖 4 縱向裂縫型態



圖 5 竹灣 150mm 漏水環向裂縫型態

另外本次兩件漏水量較大之環型裂縫經現場檢漏人員反映，漏水聲音極小難以察覺，且 AI 判讀機率皆低於 51% 以下（一般 AI 判讀機率 51 以上為高漏水機率），經觀察照片管線破損型式為在管線下方之環型裂縫，應可歸因相關型式之破管聲音較難傳遞至地表補音。

### 五、技術工法之效率驗證：AI 巡檢 vs. 人工聽音

專案期間採用了多種技術，包含本公司與工研院開發之 AI 輔助檢漏技術，該技術透過工研院的人工智慧漏水音辨識模組，能夠解析並分類不同環境與管材所產生的漏水訊號，進一步建立漏水音的特徵資料庫。這項技術成功將資深檢漏員對漏水音的判斷經驗數位化，訓練出 AI 漏水判斷模型。

表 5 不同工法之執行成果交叉比對表

技術工法	累積工時 (日)	確認漏水 (件)	效率分析
AI 巡檢	17.0	4	廣域篩選：單日覆蓋 >3,000 M <sup>2</sup>
用戶聽音	34.0	20	末端普查：針對給水管逐戶巡檢 <sup>1</sup>
一般巡檢	52.8	7	定點診斷：實地鑽探與精準定位 <sup>1</sup>

當第一線無檢漏經驗的現場同仁，快篩巡查後有高漏水機率時，再轉由專業檢漏同仁來現場做確認判斷詳圖 6，旨在提升偵測的精度與廣度，交叉分析顯示，導入 AI 每日檢出件數確實有所提升。



圖 6 AI 輔助檢漏技術作業流程示意圖

每日檢出件數為 0.235 件/日，與傳統人工聽音 52.8 工作日，「確認漏水」7 件，換算成每日檢出件數為 0.133 件/日，AI 檢出效率較高，這可能反映出 AI 輔助檢漏技術，在 11 月西嶼東北季風影響下可將風切聲造成之感擾透過濾波替代傳統捕音的可能性。另用戶聽音確認件數為 20 件，每日為 0.588 件/日，因用戶聽音為以聽音棒確認表位為明漏故無法與前項地下漏水檢測效率比較，惟反映出西嶼地區表位另件滲漏嚴重。

### 六、國際案例比較：日本與希臘之島嶼治理啟示

西嶼系統面臨的挑戰在國際島嶼管理中並非孤例。日本沖繩與希臘愛琴海群島與本公司澎湖西嶼亦有相似之戰略路徑。

日本沖繩與宮古島面臨與西嶼相似的無河流域地形，極度依賴地下水。如參考東京都「五階段降漏法」詳圖 7：西嶼目前漏水率尚處於第三階段（漏水率 20~25%）至第四階段（20-12%），此時期。重點在於汰換

老化劣化的管線。

階段	漏水率	漏水控制工作	方法
1	>30%	降低地面可見漏水	強化修復作業
2	30% - 20%	降低地下漏水	分區管理、精確管線圖、訓練並使用高品質檢測設備
3	25% - 20%	防止漏水再發	加強漏水控制作業，開始汰換劣化管線，採用延性鑄鐵管 (DCIP)
4	20% - 12%	徹底執行漏水控制工作	修正作業方法並加速管線汰換
5	12% - 5%	改善用戶接管	導入強度高且耐用的不鏽鋼用戶接管
6	<5%	維持低無收益水 (NRW)	依成本效益分析進行系統性管線汰換與漏水控制

圖 7 東京部分階段漏水管理策略

日本離島沖繩與宮古島市的漏水防治與穩定供水策略，從傳統的石灰岩層特性研究，到世界首創的地下壩系統，再到如今基於 IoT 與 AI 的智慧化管理詳圖 8、9，更換 HPPE 耐震管，並輔以專業的「定期健檢」(管網維持委託業務)，從數位監控與硬體強化兩方面同時著手這條發展路徑提供了水務公司離島與乾旱地區的水資源管理參考。

希臘群島：希臘愛琴海群島在觀光旺季

同樣面臨 3,000 CMD 以上的供水壓力。在管網管理上，希臘強調利用「分段測試法」與「夜間最小流量(MNF)」監控，而非無差別的管線汰換，這與本公司於西嶼供水系統採取的「精準汰換」策略不謀而合。



圖 8 沖繩本島及離島の IoT 水管理

## 七、從應急檢漏到精準資產管理數位學生轉型路徑

根據本次西嶼專案的數據回饋與防治處之策略分析，本系統的降漏路徑應由「人力聽音」轉向「數據驅動的精準治理」。

理想圖像	政策目標	推進方案	現行廳際定位	實施項目	實施時程 (2021-2031年度)
強勁	6. 完善維護管理體制	(12) 檢討監控裝置的設置 (攝影機、警報裝置等) (13) 配合其他設備更新之監控控制系統 (含流量計) 整備	繼續	⑩ 監控裝置更新對象設施之調查與計畫	2021-2022 年度
			繼續	⑪ 視需要進行監控控制裝置之改造	2021-2031 年度 (持續)
	7. 水網設施與管線之更新及抗震化	(14) 骨幹配水池抗震化	繼續	⑫ 配水池抗震補強工程	2029-2030 年度 (高里配水池)
			繼續	⑬ 檢討骨幹配水池緊急遮斷閘之設置	2021-2031 年度 (持續)
			繼續	⑭ 配水池更新工程 (抗震化)	2026 年度 (野原、大沖)
		(15) 骨幹管線抗震化	繼續	⑮ 白川田導水管抗震化計畫制定	2022-2023 年度
			繼續	⑯ 加治道系統導水管抗震化計畫制定	2022-2023 年度
			繼續	⑰ 導水管抗震更新工程	2026 年度 (西成原、前備)
			繼續	⑱ 送配水管抗震更新工程	2021-2023 年度 (野原、山中); 2022-2023 年度 (伊良部); 2026 年度 (野原、山中)
			繼續	⑲ 海底送水管更新與抗震化工程	2027-2029 年度 (來間、池間、大沖)
			新穎	⑲ 產業給水設備管線抗震化工程 (福山淨水場 - 宮古醫院)	2028-2031 年度
		(16) 老舊管線更新與抗震化	繼續	⑲ 老舊配水管改善更新與抗震化工程	2025-2031 年度
	8. 強化危機管理體制	(17) 儲備資材及保管場所之適當配置	繼續	⑳ 資材儲備與緊急調度對象清單化、定期維護管理與更新	2021-2031 年度 (持續)
		(18) 擴充危機管理手冊、定期檢討及實施訓練	繼續	㉑ 擴充危機管理手冊、定期檢討及實施訓練	2021-2031 年度 (持續)
		(19) 自備發電設備之適當配置	繼續	㉒ 自備發電設備設置檢討 (配合抽水設備更新進行檢討)	2021-2031 年度 (持續)
		(20) 設置緊急供水栓 (淨水場及骨幹配水池)	繼續	㉒ 檢討淨水場及骨幹配水池緊急供水栓之設置	2021-2031 年度 (持續)

圖 9 宮古島分年策略時程表(擷取自宮古島市新水道願景及水道事業經營策略)

數據顯示，竹灣小區單位無收益水量最高為 25CMD/km，且小區售水率為 50%。二崁小區單位無收益水量為 22.5 CMD/km 且破管密度位居之冠的，顯示該區存在嚴重的管線老舊問題。

**(一)短期漏水監控搭配持續巡檢：**針對竹灣、二崁、大池等重點區域持續巡檢，且持續進行小區管網漏水監控作業，以為接下來的旅遊旺季創造供水緩衝。

**(二)中期精準汰換取代全面更換：**配合「分段測試」成果，僅針對確認高 NRW 且檢漏不易之管段進行汰換。考慮到全面汰換的單位成本高、施工衝擊大且效益遞減，精準汰換更能優化預算分配。

**(三)長期在地培訓及數據驅動治理：**目前澎湖駐點檢漏人員僅 3 人，依現行年資計算預計民國 130 年屆退，考量離島地區技術傳承，應儘速加強快離島 AI 輔助技術資料庫數據提升，擴增基礎檢漏量能並於屆退前進用新進人員傳承檢漏技術，未來可利用累積的漏水案件地理坐標與 GIS 系統整合及增建水壓設備，透過 AI 大數據分析「高漏損熱點」，預測管材生命週期，達到 AI 驅動且人力精簡。

## 八、結論與未來展望

本次西嶼專案成功在兩個月內無收益水量由 114 年 9 月至 11 月約降低 684 CMD，推估售水率為 75.3%，短期效益驚人。除了建構在原 2014 年的專案經驗基礎上，更進一步導入 AI 驅動數位科技轉型，這不僅證明了大數據時代分區計量管網(DMA)基礎建設

的重要性，也揭示水公司重視西嶼系統管網 PVC 老化之嚴峻現狀。未來應以本次「找回水量」的成功經驗為基礎，引進智慧管網技術，確保西嶼在氣候變遷與觀光旺季壓力下均能穩定供水，確保西嶼這顆「海上明珠」永不缺水。

表 6 小區管網售水率與漏水量分布

小區編號	小區名稱	管長 (KM)	售水率 (%)	單位漏水量 (CMD/km)	破管密度 (次/km)
0759-01-01-02	竹灣小區	6.56	50%	25	1.69
0759-01-01-01	大池小區	5.3	60%	22.5	1.32
0759-01-01-06	二崁小區	3.8	56%	17.1	3.75
0759-01-01-11	澎湖西嶼-赤馬西小區	4.18	46%	10.2	1.2

## 參考文獻

- 1.P. Rajeev, J. Kodikara, D. Robert, P. Zeman, and B. Rajani, Factors Contributing to Large Diameter Water Pipe Failure, London, UK: IWA Publishing, 2014.
- 2.J. M. Makar, Failure Analysis for Grey Cast Iron Water Pipes, Ottawa, ON, Canada: Institute for Research in Construction, National Research Council Canada, 2000. [Online]. Available: <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=85d559c0-1b8a-420e-97fc-816889e1e069>
- 3.Assessing the Environmental and Economic Footprint of Leakages in Water Distribution Networks - MDPI, <https://www.mdpi.com/3042-5743/32/1/6>

作者簡介

林聖桓先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處工程師

專長：分區計量管網、主動漏水控制

張敬悅小姐

現職：自來水公司總管理處漏水防治處工程師

專長：地理資訊系統、圖資管理、分區計量管網

蔡博淵先生

現職：台灣自來水公司漏水防治處處長

專長：管線管理、漏水防治

曹宜政先生

現職：自來水公司總管理處漏水防治處檢修組組長

專長：漏水防治業務

本刊 115 年「每期專題」

期別	主題	子題	時程
45 卷 第 2 期	營運管理	1.供水設施營運操作、2.供水系統維護管理 3.管線失效故障分析、4.管線狀況評估、5.降低無收益水量、6.集水區保育治理、7.緊急應變及危機管理、8.管網建模及應用。	5 月
45 卷 第 3 期	水質處理	1.飲用水質政策及監管、2.水源水質管理、3.天然有機物去除處理、4.水安全計畫、5.先進水質檢測技術、6.新興污染物調查分析處理、7.水質監測與管理、8.淨水處理藥劑申請應用及管理。	8 月
45 卷 第 4 期	供水服務	1.提升服務品質、2.資訊管理與應用、3.自動讀表技術應用、4.物聯網及 ICT 技術、5.節約用水及效率措施、6.可持續的水價、7.進階抄表管理系統、8.氣候變遷、9.抗旱期間供水服務與經驗。	11 月

~歡迎各界就上述專題踴躍賜稿，稿酬從優~

# AI 應用於轉子斷條抽水機檢測之研究

文/徐煜翔、葉信孝、沈昕平、王聆彥

## 摘要

北水處加壓站多採沉水式抽水機，因設備沒入配水池中，難以安裝感測器，維護多採故障後修復，無法即時掌握運轉狀態。轉子斷條為感應馬達常見故障之一，雖初期不易察覺，但可於電流頻譜中出現側頻帶特徵。本研究以轉子斷條抽水機為對象，採馬達電流特徵分析（Motor Current Signature Analysis, MCSA）進行非侵入式檢測，運用傅立葉轉換將運轉電流轉為頻域能量圖像，並以 YOLOv8 深度學習模型訓練與辨識，依據頻譜特徵手動標註故障區域建立資料集。結果顯示，模型辨識成功率達 100%，mAP 99.5%，準確率與召回率皆為 100%。本技術具非侵入式、高準確與即時性優點，可應用於沉水式抽水機健康監測與預測性維護，提升供水穩定與節能效益。

關鍵字：轉子斷條、馬達電流特徵分析、YOLOv8

## 一、國際減碳趨勢與自來水事業節能挑戰

自 18 世紀與 19 世紀工業革命以來，世界進入化石燃料大量消耗的能源時代。然而，化石燃料的過度使用導致大量二氧化碳排放，引發全球暖化，已成為影響人類生存與環境安全的重大議題。根據聯合國政府間氣候變遷委員會（IPCC）報告，自 1906 年至 2005 年這一百年間，全球平均氣溫上升了 0.74°C，顯示氣候變遷對地球環境已產生明

顯衝擊<sup>[1]</sup>。

此外，石油、煤碳及天然氣等化石燃料屬有限資源，根據 2019 年估算，其可開採年限分別約為 47 年、228 年與 250 年。由於燃煤、燃氣及燃油發電一直是臺灣的主要發電方式，根據經濟部能源局 2020 年統計，這三者合計佔總發電量高達 82.23%<sup>[2]</sup>，使我國能源結構仍高度仰賴化石燃料，導致二氧化碳排放量居高不下，加速全球暖化問題。

為了減少碳排放，聯合國於 1992 年通過《氣候變化綱要公約》（FCCC, Framework Convention on Climate Change），倡議各國共同抑制溫室氣體排放。2015 年更通過具法律拘束力的《巴黎協定》（Paris Agreement），明確設定全球減碳目標：在 2020 年達成溫室氣體零成長，並於 2050 年將排放量減少 50%，先進國家需於 2050 至 2060 年間逐步達成淨零排放<sup>[3]</sup>。

臺灣溫室氣體排放約佔全球總量的 0.56%，行政院為響應國際趨勢，於 2015 年通過《溫室氣體減量及管理法》，以此為法制基礎推動國家層級的減碳行動綱領與階段性管制目標，促進各級政府共同推動減碳政策。能源轉型策略則以「減煤、增氣、展綠、非核」為方向，兼顧電力供應穩定、空氣品質與碳減量的平衡發展。

在此國際與國內政策趨勢下，水資源事業的節能減碳工作亦日益受到重視。抽水機

作為現代供水、灌溉、工業及民生系統的關鍵設備，其運轉效能與健康狀態不僅影響供水安全與系統穩定，更直接關係到能源消耗與碳排放。根據國際能源機構（IEA）及相關研究，全球約有 45% 至 50% 的電力消耗來自電動機及其驅動系統<sup>[4]</sup>。美國國會研究處（CRS）報告亦指出，自來水與污水處理事業的用電量常佔地方政府總電費的 30% 至 40%，其中抽水機為主要耗能設備，在自來水事業中用電占比高達 82%<sup>[5]</sup>。由此可見，抽水機運轉效率不僅能降低能源浪費與碳排放，也能有效減少營運成本，對推動節能減碳政策具有關鍵意義。

## 二、MCSA 與深度學習辨識方法

馬達為抽水機中最主要的元件之一，其運轉效率與健康狀態直接影響整體系統的穩定性與能耗。根據研究指出，馬達常見的故障包括軸承磨損、定子繞組短路與轉子導條斷裂等，其中轉子斷條（Broken Rotor Bar, BRB）屬於早期不易察覺但影響能效甚鉅的缺陷<sup>[6]</sup>。傳統診斷方式多依賴振動量測或聲學分析，但對於沉水式抽水機而言，由於設備完全沒入配水池中，難以安裝加速度計或聲波感測器等。為克服上述限制，本研究採 MCSA 作為非侵入式檢測方法。MCSA 透過監測馬達電流訊號，藉由頻譜分析偵測故障所引起的特徵頻率變化，能有效辨識轉子、定子與軸承等內部異常<sup>[7]</sup>。其概念為：當感應馬達發生轉子斷條時，定子電流中會出現

明顯的側頻帶（Sideband Frequency），位置可由下式表示：

$$f_{bb} = (1 \pm 2ks) f_s$$

$f_{bb}$ ：轉子斷條側頻頻率

$f_s$ ：電源頻率

s：轉差率

k：側頻序號（整數，k = 1, 2, 3, ...）

近年來隨著人工智慧與深度學習技術的發展，電流頻譜影像可結合卷積神經網路（Convolutional Neural Network, CNN）進行特徵學習與自動辨識<sup>[8]</sup>。透過將電流訊號轉換為影像，模型能自動判讀頻譜中潛藏的故障特徵。

## 三、實驗設計與結果分析

本研究之實驗場域為北水處碧山里三加壓站，主要供應內湖碧山里區域用水，採水池加壓至上水池之多段加壓供水形式，如圖 1 所示。

碧山里三加壓站之 2 號沉水式抽水機於 114 年 5 月 5 日發生異常。巡站人員通報該機出現低頻異音，監控數據顯示出水流量僅 854CMD，明顯低於出廠設定之額定流量 1,500 CMD，如圖 2 所示。

經後續拆卸維修檢查，發現馬達轉子銅條扭曲變形，且泵體葉輪第 3 節導流器之塑膠隔板破裂成多塊、約一半消失，使葉輪增壓後之水流無法全數導入第 4 節，部分流量回流至第 2 節，導致出水流量下降並產生異音現象，如圖 3 所示。

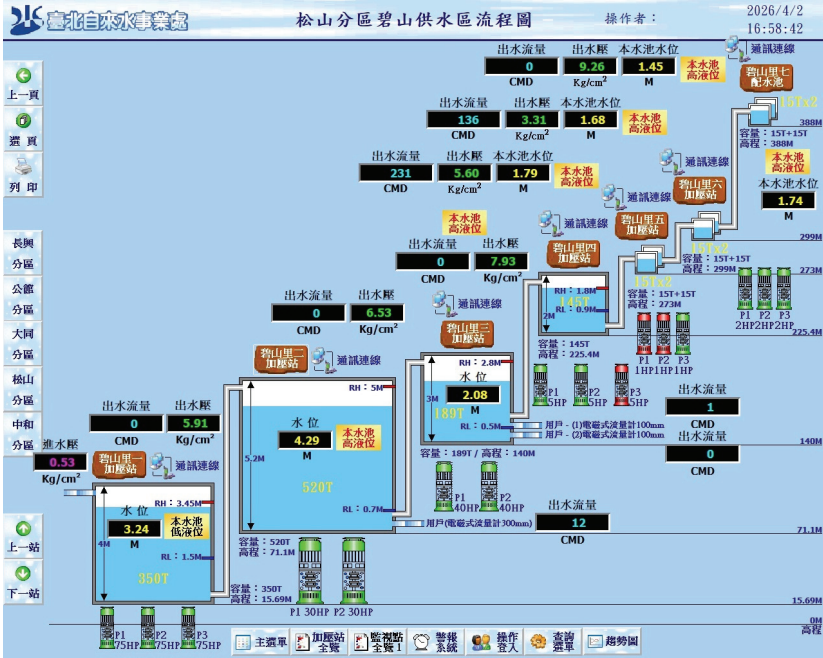


圖 1 碧山里供水區流程圖

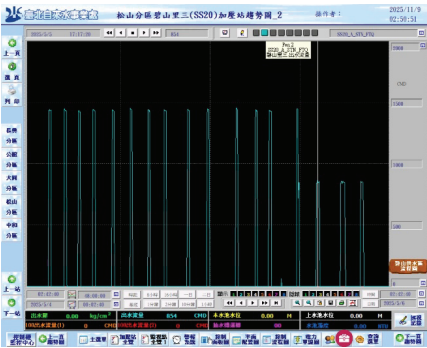


圖 2 碧山里三加壓站出水流量趨勢圖

為驗證 YOLOv8 模型於沉水式抽水機轉子斷條故障之辨識能力，本研究選取異常發生前後之電流資料進行分析。原始電流訊號經快速傅立葉轉換後，可明顯觀察到基頻

兩側出現對稱之側頻成分，其頻率位置符合轉子斷條特徵公式，如圖 4 所示。

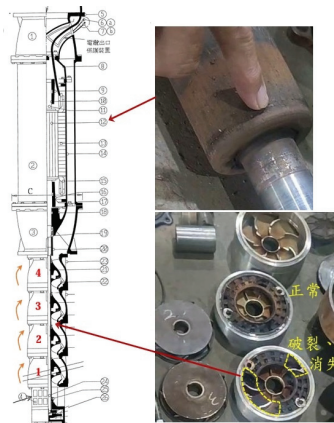


圖 3 碧山里三 2 號機拆卸之故障位置

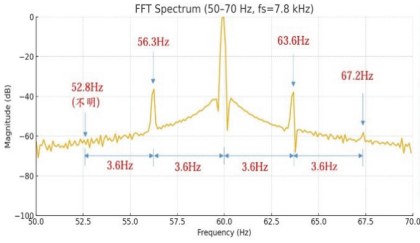


圖 4 碧山里三 2 號機故障之頻譜圖

為建立模型訓練資料集，本研究將電流頻譜影像進行標準化處理，並依據頻譜特徵進行人工標註，圈選出側頻能量異常區域。資料分為訓練集 (train) 70%、驗證集 (val) 10%與測試集 (test) 20%。模型可於頻譜影像中自動辨識轉子斷條特徵，如圖 5 所示。

模型輸出之標註框與人工標註位置重合，顯示特徵學習結果良好。模型訓練完成後，其 Precision - Recall 曲線，如圖 6 所示，平均精度 (mAP@0.5) 達 99.5%。

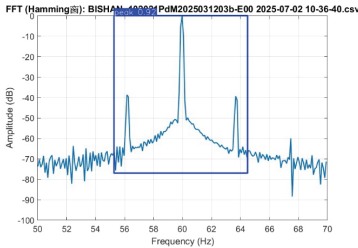


圖 5 頻譜影像中辨識轉子斷條特徵

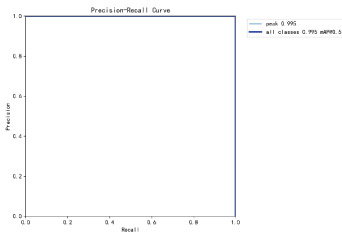


圖 6 平均精度 mAP@0.5 達 99.5%

根據混淆矩陣，如圖 7 所示，與正规范化混淆矩陣，如圖 8 所示，所有測試樣本皆被正確分類，未出現誤判或漏檢情形。

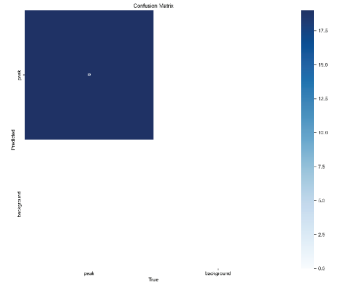


圖 7 YOLOv8 模型之混淆矩陣

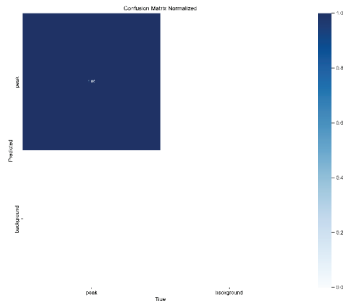


圖 8 YOLOv8 模型之正规范化混淆矩陣

綜合分析結果顯示，本研究結合 MCSA 與 YOLOv8 模型之電流頻譜影像分析方法，能有效應用於沉水式抽水機轉子斷條之非侵入式故障辨識。該方法未來可導入加壓站監控系統進行監測，協助提升系統穩定性與能源使用效率，達成節能減碳之目標。

#### 四、結論與建議

本研究以馬達電流特徵分析 (MCSA) 結合 YOLOv8 深度學習模型，建立沉水式抽水機轉子斷條故障之非侵入式辨識方法。研

究透過傅立葉轉換將電流訊號轉為頻譜影像，並以人工標註側頻特徵區域進行訓練。結果顯示，模型能有效辨識轉子斷條特徵區域，具高準確度與應用潛力，顯示此方法可作為沉水式抽水機故障診斷之可行方案。惟本研究仍屬離線影像辨識階段，尚未結合即時監測資料與自動化標註流程。未來可導入即時電流資料串流，建立自動化故障預警與能耗監控系統，以促進智慧化維運與節能減碳目標之實現。

## 參考文獻

- 1.政府間氣候變化專門委員會（IPCC），2007年氣候變化—物理基礎：第四次評估報告（AR4 Working Group I Summary for Policymakers），2007。Retrieved June 2, 2022, from(<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-spm-1.pdf>)
- 2.經濟部能源局，中華民國107年能源統計手冊（修正版），2018。Retrieved June 2, 2022, from([https://www.moeaboe.gov.tw/ECW\\_WEBPAGE/FlipBook/2018EnergyStaHandBook/#p=1](https://www.moeaboe.gov.tw/ECW_WEBPAGE/FlipBook/2018EnergyStaHandBook/#p=1))
- 3.行政院新聞傳播處，按部就班達成2025年太陽光電20GW設置目標，2019。Retrieved July 10, 2022, from(<https://www.ey.gov.tw/Page/9277F759E41CCD91/db431d06-19f7-4eb5-89ef-cb0ba1a0869>)
- 4.Tektronix, Industrial and Renewable Applications Primer, 2024。Retrieved Jan. 10, 2024, from([https://map-assets.tek.com/map-assets/taiwan/PDF/46T-740550\\_Industrial\\_and\\_Renewable\\_Applications\\_Primer\\_011024.pdf](https://map-assets.tek.com/map-assets/taiwan/PDF/46T-740550_Industrial_and_Renewable_Applications_Primer_011024.pdf))
- 5.Congressional Research Service, Energy – Water Nexus: The Water Sector’s Energy Use, Report R43200, 2014。Retrieved from(<https://sgp.fas.org/crs/misc/R43200.pdf>)
- 6.M. Blödt, D. Bonacci, J. Regnier, and J. Faucher, “On-line monitoring of mechanical faults in variable-speed induction motor drives using the Wigner distribution,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 2, pp. 522 – 533, Feb. 2008.
- 7.W. T. Thomson and M. Fenger, “Current signature analysis to detect induction motor faults,” IEEE Industry Applications Magazine, vol. 7, no. 4, pp. 26 – 34, Jul./Aug. 2001.
- 8.Y. LeCun, Y. Bengio, and G. Hinton, “Deep learning,” Nature, vol. 521, no. 7553, pp. 436 – 444, May 2015.

## 作者簡介

### 徐煜翔先生

現職：臺北自來水事業處供水科助理工程師  
專長：管網改善、人工智慧

### 葉信孝先生

現職：臺北自來水事業處供水科三級工程師  
專長：管網改善、人工智慧

### 沈昕平先生

現職：臺北自來水事業處供水科四級工程師  
專長：管網改善、人工智慧

### 王聆彥先生

現職：臺北自來水事業處供水科四級工程師  
專長：管網改善、人工智慧

# AI 應用大爆發的耗水問題探討

文/邱嘉南

## 摘要

人工智慧 (AI) 席捲全球，運算能力競賽背後，一項長期被忽略的成本正悄然浮現，那就是「水」。從資料中心冷卻、電力生產，到半導體先進製程，AI 與晶片產業對水資源的依賴，遠比外界想像更深。缺水不再只是環境議題，而是左右產業布局與競爭力的關鍵變數。隨著「AI 產業化、產業 AI 化」政策推進，台灣同樣會遭遇用水問題，所以穩定的水資源供應更顯不可或缺。OpenAI 執行長奧特曼 (Sam Altman) 曾概估，ChatGPT 每回答一個問題，大約會消耗 1/15 茶匙的水；單看這個數字，或許不值一提，但當全球每天累積超過十億次查詢，這些「微量用水」便迅速堆疊成驚人的資源消耗。生成式 AI 模型在多次回應過程中，背後的伺服器運算、冷卻與發電，往往伴隨大量淡水使用；也就是說，當 AI 使用愈來愈頻繁，水的消耗速度，也開始脫離人們對「日常用水」的想像。

關鍵字：人工智慧 (AI)、ISO 46001 水資源效率管理系統、生成式 AI

## 一、前言

「水」已經成了 AI 產業中最低調，卻最難以取代的能源。大型資料中心的冷卻系統高度仰賴淡水，隨著生成式影像、影片等高階運算需求爆炸成長，AI 消耗的電力遠高於一般搜尋或網購行為，熱量隨之飆升，冷卻壓力也同步放大。其實，業界並非沒有替

代方案，乾式或空氣冷卻技術確實能減少用水，但代價是更高的耗電量，反而加重能源負擔。於是，如何在節水與節能之間取得平衡，成了科技巨頭不得不面對的難題。

近年來，全球對水的需求量增加一倍以上，通常是因人口、灌溉農業、畜牧業、能源與製造業等產業不斷增長，導致需求量增加的原因。從 2000 年至 2050 年，在全球製造業的用水需求預計將增加 400%，這比其他行業要大得多。

摩根士丹利 (大摩) 曾發布警告，替這場隱形危機畫下更清楚的輪廓。報告指出，到了 2028 年，僅 AI 資料中心的冷卻與電力生產，就可能消耗超過千億公升的水；更棘手的是，水不像電可以輕易跨區域調度。產業界紛紛提到，電不夠還能增加容量、饋線，水一旦不足，資料中心連選址討論都無法展開。顯然，水已從大眾熟知的民生議題，升級為左右 AI 產業布局的關鍵門檻。

AI 需求仍是驅動半導體產業成長的最核心動能，而半導體同樣高度依賴水資源，先進製程廠房每日用水量動輒達到十萬公噸以上，規模相當於一座中型城市。

埋在地底的管線、日夜運轉的處理系統，或許不在鎂光燈下，卻默默撐起 AI 與晶片產業持續成長的重量，成為科技競賽中最不容忽視的「隱形基礎建設」。從國際科技巨頭研發封閉循環冷卻技術，到台灣公私部門聯手推動智慧水務與再生水建設，水資

源正被重新拉回產業決策的核心位置。這場競賽的關鍵，或許不在更快的晶片，而在一滴看似平凡，卻無可替代的水。

## 二、AI 高度發展，人類得付出多少代價？

在近年來，人工智慧（AI）迅速崛起，成為全球經濟、社會發展的重要驅動力。無論是在技術層面，還是應用場景上，AI 已經滲透到人們生活的各方面，從醫療、教育，到企業營運及日常工作流程中。

正如同過去數次技術革命一般，AI 將徹底改變全球經濟運作的模式。從早期的個人電腦時代到互聯網，再到如今的 AI 風潮，每一次科技創新，都為全球帶來了顛覆性的影響。AI 將深入到人們生活的每一個角落，不論是消費級的產品，如智慧手機或個人電腦，還是大型企業使用的數據中心和雲端運算，AI 將成為所有運算技術的核心驅動力。

但 AI 的發展並非一帆風順，它帶來了機會的同時，也使全球面臨諸多挑戰和潛在風險。OpenAI 執行長奧特曼（Sam Altman）認為，AI 不僅改變了技術的發展軌跡，也深刻影響著全球經濟的動態。未來 AI 將驅動「大規模繁榮」，並有潛力成為經濟成長的關鍵。奧特曼也強調，要實現這一目標，需要大幅降低 AI 運算的成本。這意味著全球需要建設更多數據中心，製造更多 AI 晶片，並解決能源和基礎設施的瓶頸問題。亦即 AI 有潛力成為經濟成長的關鍵，但要實現目標，全球需要建設更多數據中心，製造更多 AI 晶片，並解決能源和基礎設施的瓶頸。如果無法解決，AI 技術可能變成資源豐富者才

能擁有，加劇全球不平等。

儘管 AI 的發展帶來無數機遇，但其背後隱藏的環境代價不容忽視。據《華盛頓郵報》報導，AI 消耗了大量資源。例如，ChatGPT 寫一封 100 字的郵件，就需要耗費超過一瓶水，而大規模 AI 模型的訓練和運行，則需要巨大的能源消耗。隨著 AI 技術不斷普及，這些看似微小的環境影響將積少成多，最終可能帶來嚴重的生態後果。

這一問題的根源，在於當前的 AI 技術，極度依賴高性能運算和數據中心的基礎設施，這些基礎設施需要大量的電力和冷卻水來維持運行。如果我們無法有效解決基礎設施和能源問題，AI 技術可能變成資源豐富者才能擁有，進一步加劇全球的不平等。

## 三、ISO 46001 水資源效率管理系統

國際標準組織（ISO）發展 ISO 46001 水資源效率管理系統-要求與使用指南，可幫助各種規模和產業類型的組織進行用水審查及績效評估、實施優化用水措施的方法、提高用水效率。

透過水資源管理系統可有效管理水資源使用情形與訂定用水績效目標，藉由管理系統來建立用水人之用水績效目標、節水行動計劃、用水績效指標與基準、監控與分析、定期檢討及審查機制等管理行動，實現有效的水資源管理，並透過減少、替代或再利用的方法來提升水資源利用效率達到節約用水之目的。

電子工廠用水量高，廠商水回收率雖已一般符合園區管理局之要求，但為因應氣候極端化可能發生旱災缺水及水利署可能課

徵耗水費，應再未雨綢繆透過國際標準建立工廠用水管理。以下是企業導入 ISO 46001 (水資源效率管理系統) 與 AI 的四大挑戰：

#### (一)挑戰 1：初期導入成本高

根據勤業眾信聯合會計師事務所 (Deloitte, 2023) 調查，有 46% 的企業認為導入 AI 的最大阻礙是初期導入成本高。建議可以透過分階段導入降低壓力。

#### (二)挑戰 2：缺乏專業人才

水資源與 AI 的複合技術並非每家企業都有專才。建議尋求外部顧問團隊協助建置制度，同時進行內部人才培訓，逐步建立自主能力。

#### (三)挑戰 3：資料分散難整合

許多企業的用水數據分散於各廠區或不同部門。可藉由可導入 AI 雲端平台，集中管理智慧水表與感測器數據，提升透明度與決策速度。

#### (四)挑戰 4：組織意識不足

許多員工認為「水不會馬上造成危機」。事實上，國際供應鏈早已將水資源納入 ESG 評分。若企業不重視，可能失去合作機會與市場競爭力。

綜上，在 AI 與半導體產業快速成長的背景下，水資源已經成為影響企業生存與永續發展的關鍵。台灣雖然降雨豐沛，但可用水資源有限，若缺乏有效管理，將直接影響營運安全與國際競爭力。

### 四、全球水資源問題與發展趨勢

水資源短缺早已不是區域問題，而是全球風險。受氣候變遷（乾旱/洪澇）、人口增加與污染影響，全球約 40% 人口受缺水影

響，且預計 2050 年水需求將增長 40% 以上。以下是全球水資源問題：

- (一)氣候變遷加劇：極端天氣導致乾旱與洪水頻發，冰川消融影響天然水塔儲水，約 90% 自然災害與水有關。
- (二)分配不均與短缺：超過 22 億人缺乏安全飲用水，40 億人面臨季節性缺水。農業用水佔比高達 70%，缺水威脅全球糧食安全。
- (三)基礎設施老舊：發達國家與發展中國家皆面臨管線漏水嚴重問題，部分地區漏水率高達 15%-30%。
- (四)污染與地下水超抽：工業與農業污染導致水質優養化，且地下水超抽導致地層下陷。

隨著世界人口激增和氣候變遷加劇乾旱，到 2030 年，水資源短缺可能導致 7 億多人流離失所 (Mitota, P. Omolere, 2024)。從致命疾病到飢荒，從經濟崩潰到恐怖主義，全球水危機有可能切斷社區的連結。這種無所不在且分佈不均的資源，突顯了所有國家和生態系統之間不穩定的相互依存關係，並表明迫切需要採取大膽的集體行動，以促進全球水安全，避免不受控制的水資源壓力所帶來的人道主義、健康、經濟和政治災難。

光是在非洲，預計到 2025 年，就有多達 25 個非洲國家將遭受更嚴重的水資源短缺和水資源壓力。尤其撒哈拉以南地區正在經歷最嚴重的危機。用水安全，或為健康、生計、生態系統和生產可靠地獲得足夠數量的可接受的優質水，已成為世界範圍內的一個緊迫問題。

水資源短缺問題同樣困擾著加薩和非

洲以外的世界許多其他地區。例如埃及，供水很大程度依賴著尼羅河，但衣索比亞復興大壩威脅著供水，水質也在下降。而隨著人口的快速增長，需求卻在增加。再如伊拉克，面臨嚴重的水資源壓力，影響農業和公共衛生。由於上游築壩和氣候變化，底格里斯河和幼發拉底河的水量已經減少。供水效率低且浪費。在美國，部分地區，如加州，面臨長期乾旱。抽取地下水導致地面下降，在鳳凰城等城市，供水經常供不應求。而印度正面臨地下水嚴重枯竭、水庫和冰川萎縮、農業和工業污染以及與巴基斯坦和中國因共同河流而緊張的問題。隨著氣候變化，季風也變得越來越不穩定（2024，台灣淨零行動聯盟）。

這場危機對全球健康、糧食安全、教育、經濟和政治產生深遠影響。隨著水資源減少，有關獲取清潔水的衝突和人道主義問題可能會增加。氣候變遷也加劇了世界許多地區的水資源短缺。解決這一複雜且多方面的危機需要了解其原因、影響以及各個國家和社區的潛在解決方案。

水資源短缺在多個方面對全球安全構成嚴重威脅。首先，它可能引發國家內部和國家之間關於進入權的衝突。歷史上有許多水資源戰爭的例子，跨國爭端增加了當今中東和北非等乾旱地區的風險。其次，水資源短缺破壞糧食安全。由於農業消耗了最大比例的水資源，缺乏灌溉將威脅生計以及生計維持所需的農作物和牲畜。食品價格飆升常常引發不穩定和移民。第三，水資源短缺加劇公共衛生危機，導致社會混亂。受污染的水會傳播霍亂和傷寒等疾病。由於用水限制

導致的衛生條件和個人衛生條件不佳也會增加疾病的發生。Covid-19 大流行突顯了獲得水對於遏制病毒的重要性。

最後，水資源短缺阻礙經濟成長並加劇貧窮。水力發電、製造業、採礦業和其他耗水量較大的產業受到影響。世界銀行估計，到 2050 年，水資源短缺可能會使一些地區損失國內生產毛額 (GDP) 的 6%，加劇不平等。氣候移民給各國帶來壓力。整體而言，如果不加以解決，水危機將在多個層面上破壞社會穩定。

面對全球水危機，各國需要在基礎設施、技術、治理、合作、教育和資金方面採取地方和國際措施。首先，升級分配系統、污水處理、水壩、海水淡化、流域恢復和灌溉方法可以提高供應可靠性和質量，同時減少浪費。

其次，低成本水質感測器、負擔得起的海水淡化、精準農業和可回收處理材料等新興技術可以幫助較貧窮國家彌補基礎設施差距。然而，資助研究和使創新負擔得起仍然是一個主要障礙。第三，透過減少腐敗、私有化、計量、定價激勵和綜合政策框架來改善治理可以提高效率。但必須透過維持負擔得起的最低限度的訪問來保護人權。

第四，尼羅河和湄公河等跨界水資源共享條約表明，外交可以解決潛在衝突，但需要政治意願以及氣候變遷調適策略。第五，教育和意識可以增強個人層面的保護能力。行為改變需要時間，但可以顯著減少家庭和農業使用。

最後，增加財政援助、公私夥伴關係、更好的貸款條件和創新獎勵可能有助於各

國資助計畫。成本效益分析一致發現水安全投資報酬率高。總而言之，永續解決方案需要將新技術、治理改革、教育、合作以及本地和全球的創意融資結合起來。

全球水危機威脅著數十億人的福祉和世界各國的穩定。主要驅動因素包括不可持續的使用、氣候變遷、污染、基礎設施缺乏、貧窮、治理薄弱和跨境爭端。多重影響涵蓋公共衛生、糧食和能源安全、經濟成長和地緣政治衝突。這場危機雖然令人畏懼，但也提供了創新、合作、教育和整體解決方案的機會。透過明智的政策和投資，大多數地區都可以實現水安全，以支持發展與和平。但在壓力變得難以承受之前，必須在全球和社區層面加快行動。最終，人類對清潔水的共同依賴要求所有利益相關者齊心協力，創造一個安全用水的未來。

## 五、台灣水資源問題與發展趨勢

近幾年台灣發生旱災缺水的頻率相比過去有明顯提升，更是在 2021 年遭遇 50 多年以來最大的乾旱期，台灣被多個國際評比機構認定為高度水資源風險國家，未來更極端或是更頻繁發生的氣候現象，如暴雨、缺水可能更趨常態化。在國際之間爭取資源的情勢也不斷出現，用水壓力比台灣更嚴重的新加坡也早已開始推行水資源使用的政策，在現代社會的產業轉型效應、需求成長及社會環境快速轉變，意味著水質與供水的情況面臨嚴峻的挑戰。

由於部分產業生產過程中需大量利用水資源，如電子、光電、石化、造紙與鋼鐵等五大產業，因生產過程需使用大量水資

源，應當優先實施有效的水資源管理措施。這不僅有助於節省成本，避免浪費，還能提升企業在國際上的形象，表明其符合永續相關的國際 ISO 標準驗證並與聯合國 SDGs 永續發展目標相關聯；同時在內部，這也有助於降低與法令法規的衝突，進而降低成本。

在碳排、能源管理、溫室氣體減少等議題在國際間熱議不斷，在水資源議題探討雖不夠成熟但也逐漸增加，台灣近年積極推廣 ESG 永續發展，依據金管會發布的「公司治理 3.0-永續發展藍圖」中推動的兩大措施為「強化公開發行公司年報揭露 ESG 相關資訊」與「擴大上市櫃公司 CSR 報告書取得第三方驗證範圍」引導公司揭露重要的社會議題與環境資訊，如溫室氣體排放、能源管理、水資源管理、廢棄管理等，提高對於 ESG 的重視，而第三方驗證則是提供一個公平公開且系統化的制度，推動其 ESG 的行動與發展。

然而水資源長期管理策略需要全面思考，在台灣如此不穩定的氣候與水資源缺乏的狀況下，企業能否展現永續經營價值，明確落實 ESG，打造出具韌性的企業，是企業創造永續競爭力其脫穎而出的關鍵。

在 ESG 的浪潮下，這不僅僅是對企業有利，其影響能逐漸涵蓋整個地球生態，亦是環境永續的關鍵之一。

生產 1 萬片晶圓需耗水高達 3,000 公噸，冷卻系統每日更消耗百萬公升。AI 的快速成長帶動資料中心冷卻用水需求：僅美國的資料中心在 2021 年就消耗 6.2 兆公升的水量，單一 100MW 規模的資料中心每天可耗水 200 萬公升，相當於 6,500 戶家庭的

每日用水。預估到 2027 年，AI 用水將達 42 - 66 億立方公尺，超越丹麥全國一年的用水量。當缺水成為現實挑戰，企業如何確保生產不中斷？隨著 AI 產業爆發式成長，如 ChatGPT 與資料中心擴張，運算能力需求急遽上升，進而推升能耗與用水需求。特別是冷卻系統與半導體製程，更高度依賴大量高品質水源。然而，台灣因地形特殊、降雨時空分布不均，再加上氣候變遷，使得水資源管理挑戰遠比過往嚴峻。

對台灣企業而言，水是日常營運的成本項，更是生存與永續發展的關鍵資產。在 AI 崛起與水資源緊缺的雙重壓力下，水資源管理顯得更加重要，亦是企業未來的必修課題。

台灣降雨量世界前段，但可用水僅 20%。台灣年平均降雨量約 2,500 mm，是全球平均的 2.5 倍（全球平均約 1,000 mm）。但由於地形陡峭、降雨集中與水庫淤積，實際可利用的水資源僅 20% 左右。根據水利署統計：

年降雨總量：885 億噸

實際可用水量：633 億噸

農業用水佔 71%，工業 10%，家庭 19% 顯示出台灣在水資源配置上承受高度壓力。除了自然條件造成的限制，產業需求的快速成長更使問題雪上加霜。

除了大自然的挑戰，在產業方面的需求快速上升更讓水資源競爭愈趨激烈。AI 的快速成長帶動資料中心冷卻用水需求：僅美國的資料中心在 2021 年就消耗 6.2 兆公升的水量，單一 100MW 規模的資料中心每天可耗水 200 萬公升，相當於 6,500 戶家庭的每

日用水。預估到 2027 年，AI 用水將達 42 - 66 億立方公尺，超越丹麥全國一年的用水量。再加上半導體與製造業的高用水需求，使得有限的淡水資源面臨嚴峻挑戰。

另一方面，ESG（環境、社會與治理）壓力持續升高。研究顯示，90% 以上的上市公司已經開始進行永續報告，而超過 70% 的投資人認為 ESG 應是企業的核心策略之一。在國際供應鏈中，「用水足跡揭露」成為企業必須回應的透明指標。對台灣企業來說，若無法展現有效的水資源管理能力，不僅將面臨營運風險，更可能失去國際競爭力。因此，台灣水資源短缺不僅是環境問題，更已上升為企業生存與永續發展的關鍵課題。

## 六、能源與基礎建設成為 AI 運算擴張的現實邊界

隨著晶片供應逐步改善，AI 發展的限制條件亦隨之轉移。國際能源署（IEA）與多家研究機構指出，未來 AI 擴張的核心瓶頸，將逐步由運算能力端轉向能源、水資源、冷卻能力與電網韌性等基礎建設，特別是在高密度運算環境下，基礎設施的穩定性與可擴充性將直接影響運算能力能否有效釋放。

隨著半導體供應鏈與資料中心基礎建設逐步補上缺口，AI 產業能否持續發展，關鍵已不在運算能力供給，而在企業是否能將 AI 真正落地於核心業務流程，將其轉化為可衡量的營運效率與業務成果，進而形成可複製、可擴張的應用模式。

對台灣而言，資料中心選址除電力供給與電網穩定度外，亦須同時考量冷卻水源、

骨幹通訊網絡與用地規劃。若上述環節無法同步到位，即使上游晶片供應改善，可被實際導入的 AI 運算能力仍會受到限制，影響企業 AI 投資的落地節奏與區域布局選擇。台灣在全球 AI 供應鏈中的角色，取決於三項同步突破：

- (一)在先進封裝、測試與材料上建立更具韌性的供應網絡。
- (二)在資料中心、水電與土地等基礎建設上提前布局。
- (三)企業是否能將 AI 投資轉化為以資料、運算能力與治理為核心的長期策略。

唯有在這三個層面同步突破，台灣才能持續維持在半導體產業的關鍵地位，在 AI 運算能力與雲端基礎設施的全球競賽中佔有一席之地。(李威陞，潘暉翰，AI 驅動的價值鏈挑戰，KPMG 剖析台灣三大瓶頸與策略轉折，2025)

## 七、結論

AI 的未來，無疑是充滿潛力的。從技術創新到經濟成長，AI 正在重塑我們的世界。這一過程，也伴隨著環境、人才和政策等多方面的挑戰，需要全球技術領袖，企業和政府共同努力，以確保 AI 能為全球帶來持續的繁榮，同時減少其可能帶來的負面影響。在 AI 人工智慧技術快速演進同時，全球也面臨永續轉型的關鍵時刻。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。然而，當 AI 成為推手的同時，它所帶來的龐大能源消耗與碳足跡，也讓人不得不正視其對永續目標可能造成的反效果。這是一場科技進步

與環境責任之間的拉鋸戰，我們應如何在兩者之間找到平衡？

台灣也正面臨同樣挑戰，甚至更加嚴峻。根據綠色和平於最新發表的《晶片榮景後的暗影》報告，台灣在 AI 晶片製造上的電力消耗與碳排放放在東亞地區居於首位。雖然台積電是全球 AI 晶片供應鏈中的關鍵角色，但同時也是耗能與碳排的大戶，2022 年台積電用電量達到 196 億度，是全台最大單一用電戶，碳排放總量達 1,300 萬噸 CO<sub>2</sub>e。更值得注意的是，2023 至 2024 年間，台積電在 AI 晶片生產上的用電增加了 2.92 億度，但綠電使用僅增加 2.33 億度，再生能源使用的增幅遠遠追不上用電成長。報告也表示，AI 晶片的製程越來越依賴極紫外光 (EUV) 技術與先進封裝，導致單位晶片製造所需能耗上升，進一步加重台灣電力與碳排負擔。

儘管台灣已有再生能源憑證制度與離岸風電投資規劃，卻仍面臨產業用電集中、區域配電壓力大與綠電轉供比例偏低等挑戰。如何兼顧 AI 產業發展與能源韌性，已成為未來關鍵產業議題。因此「綠色 AI」概念逐漸成為業界共識，意指在模型研發與部署時，需將碳成本納入考量指標之一。部分 AI 開發團隊也開始在論文中附上訓練過程的能源估算，增加技術透明度與倫理審視。AI 絕非洪水猛獸，也不是萬能靈丹。它既能為永續發展帶來突破性的助力，也可能在不知不覺中成為淨零路上的大魔王。從資料中心的能源壓力，到模型部署的實務成本，這些現實挑戰提醒我們，在擁抱技術的同時，也要學會設下邊界。與其一味追求「最

綠」或「最先進」，或許我們更該關注的是：怎麼樣的路徑最符合自身條件、最能穩健前行。AI 能否成為通往永續未來的加速器，取決於我們願不願意從今天起，就為它設定一條負責任的發展軌跡。

## 參考文獻

1. Mitota, P. Omolere, Global Water Crisis: Why the World Urgently Needs Water-Wise Solutions, Africa Global Commons Middle East, 2024
2. 全球水危機：為什麼世界迫切需要節水解決方案，台灣淨零行動聯盟，2025
3. 李威陞，潘暉翰，AI 驅動的價值鏈挑戰，KPMG 剖析台灣三大瓶頸與策略轉折，經濟日報，2025)

## 作者簡介

---

### 邱嘉南先生

現職：臺北自來水事業處技術科工程師

專長：防災、資訊處理、GIS

# 馬太鞍堰塞湖泥流淹沒水表箱之應變處理

文/陳宥瑄、葉清華

## 摘要

花蓮縣光復鄉於 114 年 9 月 23 日發生馬太鞍堰塞湖溢流事件，因連日豪雨引發山崩，造成馬太鞍溪上游形成堰塞湖並迅速溢流，洪水夾帶大量泥砂與漂流木沖入下游，導致七個村落嚴重受災，約 1,700 戶水表箱被泥水掩埋或灌滿泥砂，災後調查顯示，現場坡度陡峭，加上交通受阻，使搶修與清理作業困難重重。供水中斷除影響居民日常生活，亦造成公共衛生與地方經濟重大衝擊。臺灣自來水公司第九區管理處於災後立即啟動「緊急應變小組」一級開設機制，動員跨區人力與機具全力搶修。

自來水公司第九區管理處成立稽複查組，採「即查即修」原則，針對受泥砂掩埋的水表箱進行即時清理與檢查，祈望確保將來後續維修與管理。也展現公營事業面對極端災害的專業應變與責任實踐。

關鍵字：馬太鞍堰塞湖、稽複查、即查即修

## 一、前言與災害概況

2025 年 9 月 23 日，花蓮光復鄉發生馬太鞍堰塞湖溢流事件，為近年臺灣少見的地質型天然災害之一。由於連日豪雨引發山崩，造成馬太鞍溪上游形成堰塞湖，並於短時間內發生溢流，泥砂與漂流木挾洪水而下，導致下游光復鄉七個村落受災嚴重，約有 1,700 戶水表箱遭泥水掩埋或灌滿泥砂，供水設施嚴重受損，為近年東部地區最嚴重的水務災損事件之一。

此次泥流災害規模之大，衝擊範圍超出以往經驗。台 9 線花東公路上甫於 2019 年完工通車的馬太鞍溪大橋亦遭洪流沖毀，交通一度中斷，使災區救援、清淤及供水支援工作面臨更大挑戰。

災後調查顯示，馬太鞍溪流域地形狹窄，坡度陡峭，且交通受損嚴重，使搶修與清淤作業進行更為困難。供水設施受損除影響居民基本生活外，亦對公共衛生及地方經濟造成顯著衝擊。面對此類突發性地質災害，臺灣自來水公司第九區管理處立即啟動緊急應變機制，動員人力、機具及跨區支援，在最短時間內恢復供水，並提供災區超乎常態之供水量，滿足受災民眾最基本生活需求，展現本公司面對極端天然災害的快速反應能力與公營事業社會責任。

## 二、案例探討

本次事件泥流覆蓋災區厚度介於 30 至 60 公分，部分低窪地區更超過 1 公尺以上。大多數水表箱被完全掩埋，表箱內塞滿淤泥後無法抄讀或維修，部分用戶內外管線亦因泥流壓迫鬆脫或堵塞，影響區域供水。以下為國內類似天然災害的案例，整理供參。

### (一)國內類似案例參考

#### 1.2009 年莫拉克颱風八八水災

南部地區多處山區因豪雨造成堰塞湖與泥流事件，嘉義阿里山、屏東霧台及高雄桃源地區自來水設施均遭嚴重破壞。當時台水以跨區支援方式成立「臨時供水工作

站」，並首次採行「行動式淨水車」投入運作，奠定日後防災供水模式之雛形。

### 2.2018 年花蓮強震供水受損事件

花蓮地震造成市區多處自來水幹管斷裂，約三萬戶暫停供水。當時採行「優先恢復醫療、教育及公共安全設施」原則，展現台水對地震型災害之快速搶修與調度經驗。

### 3.2021 年高雄燕巢山區土石流事件

當地堰塞湖突發性崩落造成泥流沖刷原水取水口，影響淨水場進水品質。台水公司及地方政府合組「應變與原水監測小組」，即時監測濁度變化並調整加藥量，確保民生供水穩定。

## (二)事件特性與重要性

綜觀以上案例，多數堰塞湖災害皆造成取水、供水、表位及配水系統損毀。馬太鞍溪事件雖規模相對集中，卻兼具「地形狹窄、泥砂厚重、交通不便」等高難度特性，為典型之複合型泥流災害現場。

本次臺灣自來水公司第九區管理處能在短時間內恢復災區主要供水，並進行大規模表位清查、清理及漏水修復，展現了組織韌性與跨單位協作能力，值得納入未來防災標準作業程序（SOP）參考。

## 三、現地緊急應變與支援措施

災害事件發生後，台水公司立即啟動全台支援機制，並依「分區支援、統一指揮、安全優先」原則展開全台動員，統一調度各區處人力前往支援，並設立現地工作指揮中心統籌人員、機具與作業安全。

各支援小組依區域劃分進行災區巡查與清淤作業，歸納水表箱掩沒、管線毀損與

止水栓失效等問題，建立損害類形與影響範圍分布圖，作為後續修復策略擬定依據。



圖 1 用戶水表掩埋清理前



圖 2 用戶水表掩埋清理後

### (一)成立稽查小組

為因應堰塞湖災害防救事宜，台水九區於當日啟動緊急應變小組一級開設，並成立稽查緊急巡查小組。

泥砂常伴隨洪流沖入地面設施，對自來水用戶的水表箱造成掩埋、淤積或結構損壞。為確保後續供水計量與管線安全，稽查人員需依「即查即修」原則，逐一檢查與復原。

何謂「即查即修」？意即稽查人員程序完成泥砂移除後，需立即進行外觀檢查，包括水表表面是否破裂、玻璃是否碎裂、指針是否卡滯或出現讀值異常，同時檢視水表進

出水接頭與止水栓部位，確認無滲漏或鬆動情形。若發現表箱體變形、傾斜或因土壓造成結構變位，應回報並標註異常狀況。必要時拆卸水表，進一步檢查內部是否堵塞、軸心是否受砂粒卡死，並以清水沖洗後復裝或更換新表。

另現場所清除之泥砂與廢棄物須依環保規範集中收集，移置至指定廢棄物臨時堆置場或清運點，避免二次污染或堵塞排水系統。待完成檢查後應確實回報並拍照紀錄，記載水表箱清理情形、異常狀況、採取措施及後續建議，供權責單位追蹤與維修調度之依據。

透過此程序，能確保災後水表設備之完整性與計量準確，並防止泥砂堵塞造成的漏水、誤讀或用戶爭議，維護供水系統之安全與穩定。



圖 3 稽查與查漏小組召開會議

## (二)處理進度概要與作業策略

清查人員編組：每日平均出勤 4~8 組、約 9~15 人。

總計處理件數：截至 114 年 10 月 16 日，累計清查 1,558 戶（含 40 口徑以上水表 18 戶），達成率 100%。

表 1 不同期程進度概要

日期	每期進度摘要
9月25日~9月29日	查內、外線漏水作業並以步行方式配合供水區域與國軍清掃路段。
9月30日~10月4日	探索階段，協助通報漏水與止漏，降低供水負荷。
10月6日~10月10日	1.成立家戶水電維修巡迴小組，完成需求案件97戶，並轉介行政院東部辦公室，進行後續專業志工聯合作業。 2.以主要幹道台 11 甲線（中正路）為界，優先處理嚴重區域，並以人工挖除泥砂、清理表箱。
10月13日~10月16日	全面持續清查 1,558 戶，截至 10 月 16 日止清查完成率 100%。

本次清淤採取逐一挖除方式，由人工清除表箱內積泥，使後續抄表、水表更換與管線檢修得以進行，影響水表戶數 1,634 戶，因重災戶 59 戶與佛祖街 17 戶表位仍埋沒，暫未納入清查統計，實際清除 1,558 戶。在前期探索階段，本公司進行受損區域巡查、止漏與穩定供水系統，並協助發現內外線漏水情形即時修復。

而後期清理階段，待家戶與街道積泥初步處理後，逐戶清理水表箱內淤泥，恢復抄表、更換及管線維修作業空間。

本次稽查作業遵循「路清到哪裡，台水就查到哪、修到哪」原則，採兩人一組逐段推進清理，確保復原進度與品質並重，並透過抄表系統及圖資系統即時分析資料，鎖定主供水管線(含市場集中區域)及大型水表(40 口徑以上)位置優先檢測並恢復供水。

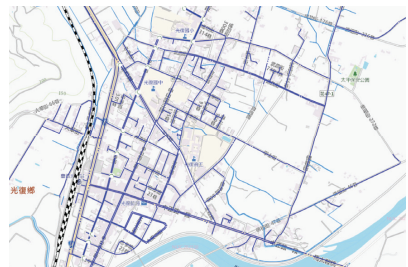


圖 4 光復市區圖資管線圖

另因應現場淤泥特性調整工具應用，試用多種清理工具（高壓水車、耙子、圓揪、軟管等），以提升工作效率，確保民生及商家儘早恢復用水，保持整體管線運作順暢。



圖 5 大型機具協助清理

### (三)現場困難與挑戰分析

馬太鞍溪堰塞湖溢流事件發生後，災區呈現典型的「狹谷地形、厚泥覆蓋、交通中斷」特徵，現場搶修與清淤工作面臨多重挑戰。供水設施損毀不僅廣泛且複雜，加上地形、氣候與人力條件限制，使得水表箱埋沒清理及供水系統恢復任務極具困難性，以下就主要現場挑戰進行分析：

1. 淤泥覆蓋嚴重，表位辨識困難：災後泥流厚度平均達 30~60 公分，部分地區甚至超過 1 公尺，導致水表箱與止水栓全數被掩埋。國軍方面難以機具先行推移主要淤泥，道路兩側累積大量泥砂，導致表位難以辨識，需以人工逐一探挖方式確認位置，嚴重影響整體表箱清淤進度。
2. 道路積水與車壓表位：災後道路未完全排水，局部積水深達 30 公分以上，部份車輛及家具堆積壓住水表箱位置，影響查修及止水栓維修。



圖 6 用戶表位嚴重淤泥



圖 7 車輛積壓表位

3. 高溫環境下作業負荷大：災後期間(9 月下旬至 10 月中旬)花蓮地區氣溫高達攝氏 33~35 度，作業現場因泥流覆蓋及反照效應，體感溫度更高。稽查人員長時間在戶外作業，易造成中暑風險，為確保安全，採取工作日程輪班。
4. 地形複雜與機具進入受限：光復鄉災區位於低窪地及狹窄巷弄中，只能依靠人工及小型設備進入，又因水溝排水不良，泥水反覆回流，加重清理難度。現場需即時調整作業方式，靈活運用耙具與軟管等工具提高清理效率。
5. 人力調度與跨區協調挑戰：初期災害廣泛，九區自有人力難以應付龐大修復需求，

需即時調度他區支援。跨區人員對當地地形亦不熟悉，並依賴 GIS 圖資系統協尋表位，透過指揮人員統一調度，逐步調整人員工作分配。

#### (四)跨單位支援

與行政院東部辦公室合作，成立「家戶水電維修巡迴訪查專案小組」，針對光復鄉七個村落共計 2,787 戶進行訪查，有需求案件計 97 戶，並轉介志工協助完成家戶內線水電修復媒合，協力恢復基本民生機能。

本次彙整自來水及電力資料，結合家戶內外線查漏紀錄，協助行政院平台加速媒合水電志工作業，提升修復效率。



圖 8 水電志工內線維修傳單

#### (五)工安管理規範

而由於作業環境多為泥濘、積水及滑動地面，存在崩塌與滑倒風險，各單位均嚴格執行工安管理規定，重點措施如下：

- 1.現場設置安全警戒線與崩塌監測，並安排專人巡查。
- 2.作業人員全程配戴安全帽、防滑鞋、防水手套與反光背心。
- 3.抽水、挖掘及附近吊運作業保持安全距離

並確認機具接地。

- 4.規劃分時段輪班制度以防止疲勞與熱衰竭。
- 5.每日召開工安檢討會議，持續更新風險管控項目。

#### 四、後續檢討與建議

馬太鞍溪事件雖屬突發性天然災害，但在清理及修復作業過程中，現場條件艱困，施工團隊在安全前提下仍全力以赴，培養其應變過程所累積之經驗，對於未來防災與管理體系具有重要借鏡意義。綜合研究分析與現場經驗，提出以下三大後續建議方向：

##### (一)強化基礎設施韌性：

- 1.推動高架式或防泥型水表箱設計，以減少泥流掩埋風險。
- 2.於易積泥區域設置導流溝與排泥管，以利日後維護。
- 3.將堰塞湖溢流潛勢監測納入防汛巡檢項目。
- 4.建立跨區應援標準作業程序與工安規範。

##### (二)建立常態化跨區應變協作機制

此次災證明跨區支援對應變速度與復原成效至關重要，建議自來水公司建立全國性「跨區支援應變資料庫」，整合人力、機具與物資資訊，定期辦理協同演練，確保各區處於災害發生時能即時聯動，縮短應變時間。

##### (三)強化人員培訓調度訓練

建議將本次事件納入全台各區應變教材，針對「現場調度管理」與「民眾溝通技巧」進行定期訓練，以檢視各單位應變小組成員是否熟悉付予之任務。並建立「現地經

驗分享平台」，讓各區人員能交流災後作業心得，促進組織知識累積與制度化。

## 五、結論

溢流事件對供水設施影響重大，透過全台各區支援動員與嚴格工安管控，公司展現快速反應與整合能力。建議持續強化防災基礎設施設計、跨區整合、人員應變訓練及安全教育，以提升整體各項系統之韌性與防災效能。

## 作者簡介

### 陳宥瑾小姐

現職：台灣自來水公司第九區管理處吉安壽豐服務所

股長

專長：抄表稽查、營收管理

### 葉清華先生

現職：台灣自來水公司第二區管理處處長

專長：供水管理

## 中華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法

中華民國 105 年 8 月 26 日第十八屆第八次理監事聯席會議審議通過

### 一、目的

為鼓勵本會會員踴躍發表自來水學術研究及應用論文，以提升本會會刊研究水準，特設置本項獎勵辦法。

### 二、獎勵對象

就本會出版之一年四期「自來水」會刊論文中分「工程技術」、「營運管理」、「水質及其他」等類別，分別評定給獎論文，每類別以 2 篇為原則，每篇頒發獎狀及獎金各一份，獎狀得視作者人數增頒之。

### 三、獎金金額

論文獎每篇頒發獎金新臺幣壹萬元整，金額得視本會財務狀況予調整之。

上項論文獎金及評獎作業經費由本會列入年度預算籌措撥充之。

### 四、評獎辦法

(一)凡自上年度第二期以後至該年度第二期在本會「自來水」會刊登載之「每期專題」、「專門論著」、「實務研究」及「一般論述」論文，由編譯出版委員會於每年六月底前，每類別推薦 3-4 篇候選論文，再將該候選論文送請專家學者審查 (peer-review)，每篇論文審查人以兩人為原則。

(二)本會編譯出版委員會主任委員於每年七月底前召集專家學者 5 ~ 7 人組成評獎委員會，就專家審查意見進行複評：

1. 評獎委員以無記名投票，每類別論文勾選至多 2 篇推薦文章，每篇以 1 分計算，取累計分數較高之論文，至多 2 篇，為該類給獎論文。
2. 同一類別如有多篇文章同分無法選取時，以同分中專家審查總分數高低排序，分數再相同，則由評獎委員以無記名投票方式決定。

(三)選出給獎論文，報經本會理監事會議通過後公佈。

### 五、頒獎日期

於每年自來水節慶祝大會時頒發。

六、本辦法經由本會理監事會議通過後實施，修訂時亦同。

# GPU 伺服器應用於建置錄音轉文字經驗談

文/胡斌漢、張琮明、張文旭

## 摘要

近年來隨著人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 及深度學習 (Deep Learning) 技術的快速發展, 語音轉文字 (Speech-to-Text, STT) 系統已廣泛應用於智慧客服、AI 個人助理、會議記錄、自動字幕生成等領域。為了提升語音辨識模型的運算效率與準確率, 本文探討如何組裝一台 GPU 伺服器, 並於其上部署 OpenAI 所開發的免費軟體 Whisper 語音辨識模型。本文詳細說明硬體規格選定、系統架構、軟體安裝流程及效能測試結果。結果顯示, 搭載 NVIDIA RTX 4080 GPU 的伺服器在執行 Whisper-large 模型時, 能以高準確率與低延遲完成多語言語音轉文字任務, 顯示 GPU 平台在語音處理應用中的優勢與可行性, 並發揮地端自建模型對於機敏與隱私資料的保護要求。

關鍵字: GPU 伺服器、Whisper、語音辨識、CUDA

## 一、前言

隨著科技日新月異的發展, AI 人工智慧已成為當前世人關注的重點話題之一, 近年來語音資料在各行各業中的普及, 語音轉文字技術的重要性日益提升, 無論是智慧客服、AI 個人助理、會議記錄、媒體字幕生成或是人機互動介面等, 語音辨識系統的準確性與即時性皆為關鍵。傳統的語音辨識系統多依賴雲端 API (如 Google Speech-to-Text, Azure Speech Service), 然而因機關內部公務

之語音內容可能存在機敏或隱私資料, 故本文以採用地端方案自建 GPU 伺服器之方式導入。

OpenAI 於 2022 年釋出的 Whisper 模型, 以開源方式提供多語言自動語音辨識 (Automatic Speech Recognition, ASR) 功能。其以 Transformer 架構為基礎, 能在 CPU 或 GPU 上運行, 並支援多種語言。為了實現高效的本地端語音辨識, 本文組裝一台具備 GPU 的伺服器, 並部署 Whisper 模型, 以評估其在實務應用中的表現; 同時由北水處資訊人員自行開發建置錄音轉文字系統, 提供同仁於地端使用會議錄音檔轉文字之服務, 避免機敏與隱私資料外洩。

## 二、系統架構與硬體組裝

### (一)雲、地方案比較:

AI 人工智慧相關軟、硬體發展迅速, 為了解 AI 相關應用如何於機關內部導入使用, 首先分別從地端建置 (On-Premises) 與雲端建置 (Cloud-Based) 兩個角度分析, 並比較導入之差異比較如表 1。

### (二)硬體選定原則:

考量導入 AI 應用初期, 應首要注重資料安全及隱私保護, 因此於 113 年 11 月初步構想於地端自行組裝 GPU 伺服器, 並能兼顧運算效能、穩定性、電源供應效率等面向。本文根據 Whisper 模型的運算需求, 選擇主要硬體元件如表 2。

表 1 雲端、地端方案比較整理

項目	地端建置	雲端建置
初期成本	高	低至中等
運算彈性	較低	高
資料安全性	最高	需加強控管
維運負擔	需內部團隊	由供應商管理
技術更新速度	較慢	快速
適用對象	大型企業、重視 隱私產業	中小企業、創新 部門

表 2 GPU 伺服器硬體元件規格及說明

元件類別	選用型號	說明
CPU	Intel i9 14900K 3.2GHZ*1	24 核心 32 緒， 多工效能
主機板	技嘉 Z790 AORUS ELITE X WIFI7	支援 PCIe 5.0 與 多 GPU 擴充
GPU	技嘉 RTX4080 SUPER WINDFORCE V2 16G*2	提供強大 CUDA 與 Tensor 核心運算能力
記憶體	32GB DDR5-5600*2	支援大模型載入
儲存裝置	威騰 WD 黑標 SN850X 2TB NVMe SSD	提供高速 I/O 效 能
電源供應器	1400W 80+ Gold	穩定供電與安全 保護

GPU 伺服器於 113 年 12 月完成採購程序並儘速向廠商下訂，並於同年同月完成組裝（如圖 1 及圖 2），由於 GPU 顯示卡長度較長，所選用之機殼與一般個人電腦不同，另考量效能因素，CPU 選用高階 Intel i9，記憶體採用 DDR5-5600 共 64GB，儲存設備則採用 NVMe SSD 2TB。



圖 1 GPU 伺服器硬體元件組成

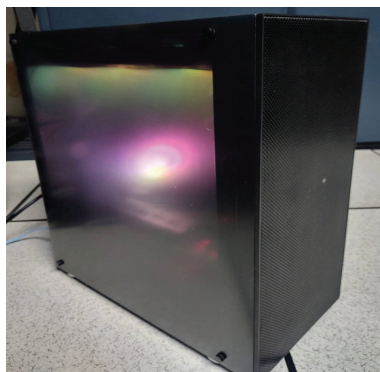


圖 2 GPU 伺服器組裝完成外觀

### (三)資料安全與隱私保護原則：

地端（On-Premises）處理特點是輸入資料和推論出的資料不離開設備的處理方式。從資料保護風險的角度來看，地端處理是風險最低的類別，且對比雲端模型，地端模型所參與資料處理來源數量相對較少，但同時提供組織擁有最大的控制權與管理權<sup>[1]</sup>。以資料治理的角度，資料授權角色可用

以下 3 種不同角色的來區分權責：

- 1.資料持有人 (Data Owner) 有最大的控制權，此控制權包含原始資料與推論資料的完整運用權利，一般來說，資料持有人通常由具管理階層的成員擔任，例如部門主管、業務主管，資料持有人對資料擁有最終的決策權，負責資料授權、分類、保護政策和問責，並須對資料整體生命週期負責，有權決定誰可使用資料及其用途，但通常不處理具體技術設定或日常操作<sup>[2]</sup>。
- 2.資料託管人 (Data Steward) 或稱資料管家屬於資料持有人的受委派執行角色，負責協助資料持有人，確保資料治理政策落實，包括資料分類、保護與品質維護等日常管理工作，聚焦在資料的質量保證與規範遵守，屬於策略執行層，強調業務流程中的資料完整性與準確性，對於包含資料處理相關利害關係人權責劃分、智慧財產權保護也是資料託管人的權責，常於組織內的法務部門或業務部門相關人員擔任<sup>[2]</sup>。
- 3.資料保管人 (Data Custodian) 則側重於技術層面，負責資料集的儲存、備份、安全控制等運維工作，組織分工常屬於 IT 部門或系統管理團隊，確保資料的技術安全和可用性，處理硬體、軟體環境中資料的安全維護<sup>[2]</sup>。

本文所實作的地端自建模型，以會議語音自動辨識轉錄為應用場景，則資料治理的權責與分工可如表 3 所示。

表 3 語音自動辨識的資料治理權責與分工

角色	主要擔任者	主要責任與分工
資料持有人 (Data Owner)	高階管理階層、部門主管	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 定義資料政策和使用規範</li> <li>- 決策資料權限及保護等級</li> <li>- 負責最終問責</li> <li>- 決定誰可存取及使用會議轉錄文字資料</li> </ul>
資料託管人 (Data Steward)	業務單位資料管理員或專業資料人員	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 負責資料品質管理與日常維護 - 執行資料分類、標準與保護政策</li> <li>- 協調使用者需求及政策落實</li> <li>- 監控資料的準確性和完整性</li> </ul>
資料保管人 (Data Custodian)	IT 部門、系統管理員	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 管理資料的技術儲存、備份與安全</li> <li>- 控制資料存取權限，防止未授權訪問</li> <li>- 確保資料系統的穩定運作與安全防護</li> </ul>

### 三、軟體環境建置

#### (一)安裝作業系統與驅動程式：

考量後續維護便利，不使用 Linux 作業系統，本文作業系統係使用 Windows 11 專業版，並加入機關 AD 目錄服務網域，考量資通安全套用網域群組原則，並遵循行政院政府組態基準 (Government Configuration Baseline, 簡稱 GCB) 一致性之安全政策。完成作業系統安裝後，首先更新套件並安裝必要驅動程式 (GPU 顯示卡驅動更新，如圖 3)，以發揮系統最大效能並解決可能之程式 BUG。

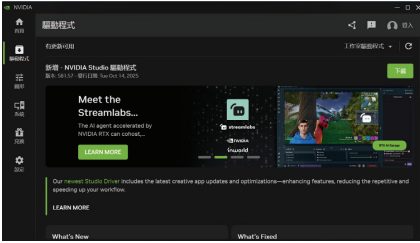


圖 3 Nvidia 顯示驅動程式更新畫面

### (一) Whisper 軟體介紹及版本比較：

Whisper 語音轉文字軟體是 OpenAI 開發的開源 AI 模型，可免費使用，主要功能為將語音檔轉換成文字稿。目前提供二種安裝模式，分別為圖形化介面版本及指令型版本，簡要說明如下：

- 1.圖形化介面版本：透過安裝桌面應用程式（如 Whisper Desktop）來使用功能，安裝及操作較為簡易，惟經測試僅支援 medium 模型，準確度較高之 large 模型無法正常運行。
- 2.指令型版本：透過指令安裝及操作相關功能，可以支援 medium 及 large 等模型，需要具備操作一些基本 Python 指令之能力。

### (二) Python 環境與 Whisper 安裝：

經測試指令型版本較為穩定，且可選擇較多之模型，更能依需求彈性運用。故本文以介紹指令型版本之 Whisper 程式安裝為主，步驟如下：

- 1.建立虛擬環境以避免套件衝突：
  - 先建立虛擬環境  
`conda create --name whisper python=3.11`
  - 啟動虛擬環境  
`conda activate whisper`
  - 將路徑指定至欲轉換影片存放之資料夾

cd Whisper :

### 2.安裝語音轉文字軟體 Whisper

- 安裝 CUDA 驅動程式 <sup>[3]</sup>

```
pip3 install torch torchvision torchaudio
--index-url
https://download.pytorch.org/whl/cu124
```

- 安裝 ffmpeg 套件

```
Set-ExecutionPolicy Bypass -Scope Process
-Force;
```

```
[System.Net.ServicePointManager]::SecurityPr
otocol =
[System.Net.ServicePointManager]::SecurityPr
otocol -bor 3072; iex ((New-Object
System.Net.WebClient).DownloadString( 'htt
ps://community.chocolatey.org/install.ps1' ))
choco install ffmpeg
```

- 安裝 Whisper 軟體 <sup>[4]</sup>

```
pip install openai-whisper
```

### (三)完成安裝之測試：

安裝完成後可執行以下命令驗證模型：`whisper example.wav --model large --language Chinese`，若能成功輸出轉錄結果，即代表 GPU 加速與模型載入皆運作正常。

## 四、效能測試與分析

### (一)測試環境：

為評估 GPU 對 Whisper 模型之加速效果，本文選用三段長度不一的語音檔，分別在 CPU 模式與 GPU 模式下進行語音轉文字比較，並分別紀錄音檔長度及辨識所花費之時間。

### (二)實測結果：

經實測結果顯示，以 Whisper 軟體進行

三個不同長度音檔之語音轉文字，GPU 模式平均運行時間約為 CPU 的 1/8.6（如表 4），顯示 GPU 加速對大模型語音轉文字任務具有顯著效益。

表 4 CPU 與 GPU 模式運行時間比較

模式	模型	音檔長度	辨識時間	辨識時間比較 (CPU/GPU)
CPU (Intel i9 14900K)	whisper-large	1 分 0 秒	1 分 25 秒	8.5
GPU (RTX 4080)			10 秒	
CPU (Intel i9 14900K)	whisper-large	9 分 55 秒	17 分 20 秒	8.6
GPU (RTX 4080)			2 分 1 秒	
CPU (Intel i9 14900K)	whisper-large	7 分 19 秒	16 分 20 秒	8.7
GPU (RTX 4080)			1 分 53 秒	
平均值				8.6

### (三)應用場景：

Whisper 可應用於多種場域，本文整理如下：

- 1.會議自動紀錄：搭配麥克風串流，實現即時字幕生成。
- 2.媒體製作：將影片音軌自動生成字幕檔（SRT/ASS）。
- 3.多語言轉錄：自動偵測語言並翻譯成指定語種，利於多語言翻譯使用。

## 五、錄音轉文字系統建置與風險因應

### (一)錄音轉文字服務整體流程與技術核心架構說明

為避免機敏與隱私資料外洩，由北水處

資訊人員自行開發及建置錄音轉文字系統，將系統安裝於本文組裝之 GPU 伺服器，提供同仁於地端使用會議錄音檔轉文字之服務，另由於系統程式碼為自行撰寫，可完全掌控系統功能與架構。

本系統以「前端操作介面+後端 Whisper 轉換」為核心架構，整體流程簡明、直覺，使用者僅需上傳音檔，即可快速取得可編輯的會議文字紀錄（系統畫面，如圖 4）。以下為畫面與整體技術流程說明：

- 1.音檔上傳：使用者於前端平台上傳錄製之會議音檔（支援 MP3、WAV、FLAC 等格式）。
- 2.語音辨識處理（Whisper）：系統自動將音檔餵入 Whisper 模型進行轉錄，並產出逐字稿。
- 3.文字結果匯出：將轉錄文字輸出成文字檔，並提供給使用者下載。



圖 4 語音轉文字系統畫面

### (二)潛在風險與解決辦法

- 1.轉錄準確率受限於音質或語音品質，吵雜環境、重疊發言、口音明顯等，可能影響辨識效果。建議搭配高品質麥克風，鼓勵會議分段發言，並選擇 Whisper 較高階模型版本（如`large`）提升準確性。
- 2.若系統操作複雜，可能導致使用者排斥，故系統設計簡單直觀的使用介面，並搭配教育訓練與操作手冊，加速內部導入適應。
- 3.採取漸進式導入方式，運用現有設備進行

主機架設與資源配置，先小規模試行，再逐步擴展，降低風險與壓力。

## 六、成果與效益

系統於 114 年 8 月 7 日正式上線，統計至 10 月底，已累積 123 次使用人次，顯示其有效協同同仁業務。此平台也可作為北水處未來 AI 模型選型與導入前的試驗平台，供北水處能選擇出效能更強、支援性更廣的 AI 模型。

## 七、結論與建議

本文成功組裝一台以顯示卡 NVIDIA RTX 4080 為核心的 GPU 伺服器，並於 Windows 環境下安裝並測試 OpenAI Whisper 語音辨識模型。實驗結果顯示，GPU 加速能顯著縮短轉錄時間。此成果驗證了 GPU 平台在本地語音處理任務中的可行性，對未來智慧客服、AI 個人助理、即時會議紀錄與媒體字幕生成等領域具參考價值，並可避免機敏與隱私資料外洩。

另本文錄音轉文字系統為北水處資訊人員自行開發及建置，由於系統程式碼皆為自行撰寫，可完全掌控系統功能與架構。

本文提出下列 3 點建議事項，提供未來 AI 應用需求導入者參考：

1. Whisper 模型在 GPU 環境下展現了極高的效能，但也伴隨資源消耗與部署挑戰。因模型需充足記憶體才能運作順暢，建議事先採購足夠效能之 GPU 卡，否則將導致轉出速度緩慢，無法滿足使用者急需。不同 GPU 卡之效能比較可參考 Github 網站<sup>[5]</sup>。
2. 本地 GPU 伺服器雖能保障機敏及隱私資料，但初期建置成本較高，同時需考量電

力與散熱需求。

3. Whisper 軟體偶爾會發生同一段話重複翻譯之情況；另有時亦會發生前段正常翻譯為繁體中文，後段又不預期翻譯為簡體中文之現象。因此，需叮嚀使用者，系統產製之文件僅為參考，若需作為公務使用，請務必詳細檢視並確認其內容正確性。

## 參考文獻

1. Privacy in Speech and Language Technology. (Aug 21 - Aug 26, 2022) Dagstuhl Seminar 22342  
<https://doi.org/10.4230/DagRep.12.8.60>
2. 資料治理-資料資產管理的最佳實踐框架。CIO IT 經理人。雜誌 2020 年 09 月號 NO.111 Page40-43
3. Get Startde Install PyTorch locally.  
<https://pytorch.org/get-started/locally/>
4. OpenAI Whisper GitHub Repository.  
<https://github.com/openai/whisper>
5. Performance benchmark of different GPUs.  
<https://github.com/openai/whisper/discussions/918>

## 作者簡介

### 胡斌漢先生

現職：臺北自來水事業處三級管理師

專長：資訊設備管理與維護、作業系統設計與分析、資訊安全、人工智慧應用

### 張琮明先生

現職：臺北自來水事業處助理管理師

專長：資訊系統管理與維護、程式系統設計與開發、資訊安全、人工智慧應用

### 張文旭先生

現職：臺北自來水事業處股長

專長：資訊設備管理與維護、網路架構設計、資訊安全、人工智慧應用

# 赴紐西蘭參加 IWA—ASPIRE 2025 會議暨 東京水道株式會社參訪報告

文/李建興、林美良、林志憲、蘇柏源、葉文正、李明輝

## 摘要

第 10 屆 IWA-ASPIRE 大會日前於紐西蘭基督城舉辦，時間從 114 年 9 月 29 日至 10 月 3 日，主要展覽內容為全球各國家在水資源方面所面臨的挑戰和擁有的優勢，與全球各地之水務專家齊聚一堂共同分享討論。本會議將為來自全球超過 140 個國家水務專家代表及現場將近擺設涵蓋超過 300 個展覽攤位，用來展示世界各國及當地現階段所面臨的挑戰及分享來自世界各地的知識、解決及創新的方法。這也就是為什麼今年的主題採用「賦能未來」，就是希望為有韌性的地區提供智慧水務的解決方案<sup>[1]</sup>。

最後，在東京水道株式會社之專業分享，其公司以創新技術與完善制度維持高品質供水，提升員工向心力，漏水率僅 3%，展現卓越管理與永續經營，可為台灣水務提升的重要借鏡。

關鍵字：IWA-ASPIRE、賦能未來、東京水道株式會社、漏水率

## 一、公司概要

東京水道株式會社(Tokyo Water Co., Ltd.)，是日本最大的自來水綜合服務公司之一，業務範圍幾乎涵蓋了東京自來水業務的各個方面，包括自來水設施的開發和維護等技術現場工作，服務營運及水費收取等客戶服務以及 IT 服務。該公司亦是東京都政府出資設立的企業，且水道局已宣布將大部分現

場業務轉移至該公司，因此該公司將成為業務規模進一步擴大及具有發展潛力的企業。

公司所在地位於東京都新宿區，草創時期為株式會社 PUC 公司(1966 年 8 月)，1987 年 2 月又創東京水道服務株式會社，至 2020 年 4 月 1 日將 PUC 公司及水道服務公司合併於東京水道株式會社(2004 年 4 月 5 日設立)，迄今亦已服務約 1 甲子(59 年)詳圖 1。

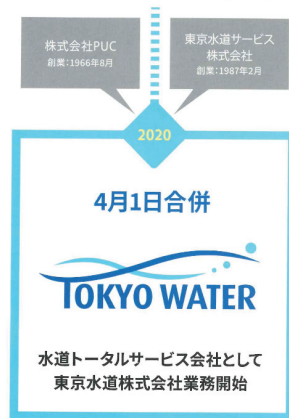


圖 1 東京水道株式會社正式成立時間<sup>[2]</sup>

公司資本額，1 億日圓，營業額 293 億日圓，員工數約 3,000 人，主要股東計有：東京都水道局、日本財產保險株式會社、瑞穗銀行、瑞穗信託銀行、東京海上火災保險株式會社、富國生命保險公司等等。

分支機構計有：位於新宿區的總公司、新宿區的水道技術本部、立川市的多摩水道技

術本部及東京都內各辦事處(約有 80 處)等詳圖 2。

企 社 名	東京水道株式会社(Tokyo Water Co., Ltd.)
本社所在地	〒163-1337 東京都新宿区西新宿六丁目5番1号 新宿アイランドタワー37階
創 業	1966年8月
設 立	2004年4月5日
代 表 者	代表取締役社長 野田 敦
資 本 金	1億円
売 上 高	293億円(令和5年3月末現在)
社 員 数	約3,000名(令和7年4月現在)
株 主	東京都(水道局)、損害保険ジャパン(株)、(株)みずほ銀行、みずほ信託銀行(株)、東京海上日動火災保険(株)、富国生命保険相互会社
事 業 所	本社(新宿区)、水道技術本部(新宿区)、多摩水道技術本部(立川市)の他、東京都内の事務所(約80カ所)

圖 2 東京水道株式會社公司概要<sup>[2]</sup>

## 二、供水現況

本公司自來水供應範圍涵蓋東京 23 個區域及多摩地區 26 個區域，主要供應人口約 1,376 萬人，365 天 24 小時無間斷的穩定供水，給水區域約 1,239KM<sup>2</sup>，給水管線長度約 27,520KM，1 日供水量約 4 百 17 萬 M<sup>3</sup>。

另外，該公司亦與東京都水道局共同成

立了東京都水道集團(詳圖 3)，透過與東京都政府合作進行人員交流、聯合培訓和災害應變等，目的希望未來可以加強營運基礎並透過分享交流結合加強綜合實力，未來確保穩定的供應安全及優質的飲用水。

## 三、公司組織

該公司分成三大核心部門主要為：

### (一)客戶服務部門

1. 客戶服務中心: 該公司透過網路或電話接待處理用戶的問題，例如啟動或停止供水或其他。
2. 銷售辦事處及服務據點: 該公司負責處理用水量的計算也包括啟動和停止供水、收取水費等。另外，公司也負責與水錶抄錶公司的聯絡與協調、供水安裝工程設計審核和竣工檢查以及水錶更換等相關業務。
3. 水務 IT 服務業務: 該公司提供水費收取管理系統和呼叫中心管理系統；全天候配備人工值守和視訊監控將資料中心確保安全可靠，可以滿足客戶的需求。

### (二)解決方案推廣部門



圖 3 東京都水道集團<sup>[2]</sup>

東京水道グループで培った世界最高水準の技術とノウハウにより、海外事業体をサポートしています。

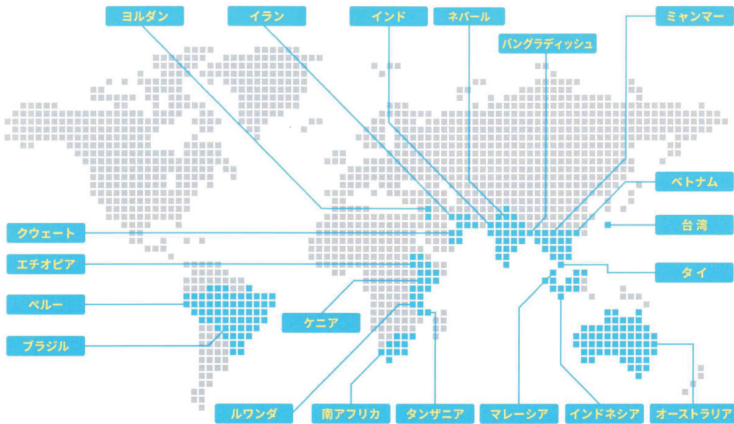


圖 4 海外水道事業部據點(約全球 10 個區域)<sup>[2]</sup>

- 1.生活供水業務:該公司提供最佳的客戶服務和解決方案,例如:該公司利用半個多世紀以來累積的水費徵收經驗和專業知識以及 IT 技術,幫助各地方公共組織根據設施的老化和未來供水狀況等因素來制定更新計畫;另外,在檢測漏水方面,該公司也由東京水道局提供有效的漏水檢測技術和多年累積的經驗以提高良率。
- 2.公共 IT 業務:該公司對客戶經營主題進行現況調查、分析、評估及規劃解決並提出最佳的方案。若有需要將協助建立系統,使現有系統可以再優化升級。另外,該公司也可依據用戶的業務系統的需求,配合設計最佳的運行配置,然後安裝及配置設備與軟體,以建立良好之監控系統並提供完整的諮詢與服務。
- 3.海外水道事業:該公司利用東京水道集團培養的世界級技術及專業知識來支持海外

企業。該公司亦利用官方發展援助,在因缺水而難以收取費用的國家中建設基礎設施,為減少無計量水價做出貢獻。且為了改善發展中國家的供水服務,公司亦派遣專家到當地提供財務管理、資產管理等方面的培訓,以及管理計畫制定、儀表管理改進及抄表作業等方面的技術指導。並派前講師前往發展中國家的政府官員或供水部門的工程師提供訓練講習詳圖 4。

### (三)水科技業務部門

該公司在更新或安裝新水管時,會勘測施工路線、計算成本並繪製設計圖。此外,該公司亦會確認施工是否安全進行,並在必要時與相關機構進行協調並向當地居民進行解釋及說明。

另外,該公司亦擔負水源到水龍頭的設施維護及管理,從東京都中州市到多摩川上游東京的水源林覆蓋範圍廣闊,該公司負責

現地的調查與保育管理。此外，亦包含水庫、水源林等水源設施的管理。

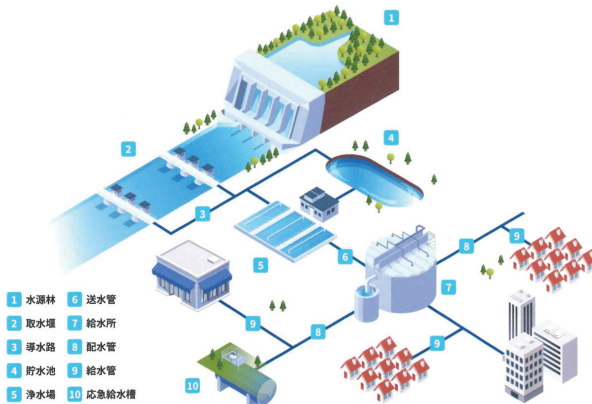
再者，該公司透過監測水質、維護和管理現場的各種水處理過程，提供穩定及安全的水，並持續保持每個配水設施功能的維護及管理工作。

最後，該公司在洩漏檢測及預防措施方面，因漏水大多發生在地下，發生後往往需要很長時間才能被發現。為了減少地下水，該公司採取了改進供水管道材質、完善供水管網及確保適當水壓等措施，其中，引以為傲的是目前已將漏水量控制在供水總量的 3% 左右詳圖 5。



圖 5 地下管漏調查示意圖<sup>[2]</sup>

時間積分式漏水檢測儀 → 聽音棒 → 使用相關檢漏儀進行調查 → 電子檢漏儀



水源から蛇口まで、  
いのちの水を守り抜きます。

圖 6 水道技術業務供水示意圖<sup>[2]</sup>

接下來介紹該公司主要業務計有以下七類：

- 1.設計業務(土木):主要工作涉及新水管替換舊水管的設計。
- 2.工事監督業務(土木):提供老化水管抗震接頭安裝的施工管理。
- 3.維持管理事業(土木):妥善維護和管理供水設施，以確保穩定、安全及口感的自來水。
- 4.給水裝置業務(土木):將供水管道從配水管拉到每個家庭，本公司將嚴格管控施工方法的確認、檢查及諮詢。
- 5.運轉管理及維持保全業務(電器、機械):每天 24 小時不間斷的維護淨水廠與供水站的操作維護。
- 6.水質管理業務(環境):檢查淨水廠水處理過程每個階段的水質，以確保其正常運作。
- 7.森林管理業務(林業):管理水源涵養森林，努力維持其功能。

#### 四、公司永續經營之作為

##### (一)良好的教育訓練：

該公司提供各式各樣的培訓，每年開設超過 50 門課程。除了必修培訓外，其公司還提供應徵者可以參加的培訓以及只在獲得資格的課程。即使入職後不具備專業知識，也能安心地找到成為專業人士的途徑。

##### (二)透明的升遷管道：

該公司積極投入讓員工可以想像五年或時候的自己。每個階段都會有新的風景映入眼簾。且每天的努力未來都將成為幫助自己成長的巨大果實。公司依企業目標準備舞臺，可以使員工穩步前進。

##### (三)薪資、福利及工作條件：

初任該公司員工，依據不同等級的學經歷，由約 22 萬日圓至 27 萬日圓不等。交通津貼、房屋津貼及家庭津貼等。獎金的部分，平均為 4.85 個月(初任為 3.3 個月)，每年調薪一次。假期的部分依照當地的基準，平均有薪假約 17.2 天。工作時間 08.30-17.15。社會保險全保障。必要技能，需有普通汽車駕照及電腦操作技能。

##### (四)提供員工住宿優勢：

該公司員工可以自行尋找住宿地，再由公司依規定補助。另外亦可以選擇住宿，由公司提供之員工宿舍，與獨自居住相比，使用員工宿舍的成本更便宜，這樣即使住的遠的人也可以安心的在東京生活。

再者，還有每年提供獎學金返還制度，以減低員工的心理負擔，且補助國內外旅遊住宿、補助生育等多達 140 萬項以上的服務。

##### (五)人員組成分析：

該公司員工有 60%以上的人來自關東地區以外，其中女性員工數也正在增加。也超過 70%以上的員工，目前正享受獨自生活，這代表公司提供設施齊全的員工宿舍(帶家具!)且有 90%以上的人對工作滿意。且上班後閒暇之餘，員工都盡情做自己喜歡的事，這樣第二天就能努力工作。

#### 五、結論及建議

總結，在全球超過 140 個國家參與的水資源大會，會中大家分享自己的所見所聞及研究成果，無一不是具備滿滿的專業及自信，且各國均有各自的優勢。並且在展覽會場中，有幸可隨長官至東京水道株式會社請益拜訪，最終歸納出以下結論：

- (一)東京都供水人口約 1,376 萬人，地下水的漏水率約 3%，全國性的漏水率約 10%，與台灣全省相較目前約 10%，地區性的大台北約 7%，相比之下，還有可進步的空間，未來可以在彼此互相交流吸取新技術。
- (二)海外拓點的專業輸出，未來也勢必是一大趨勢，台灣專業人才聚集，適時的提供海外專業協助或運營，也是一大可提升經濟效益並開創多元視角。
- (三)一間制度完善且多角化經營公司，員工是公司最重要的資產，不僅須提升員工素質，建立透明清晰的制度，安排完善優良的教育訓練，也需要讓員工可以肯

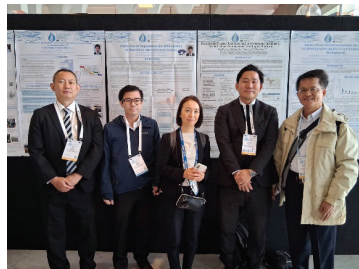
定自己實現自我的地方，諸如像東京水道株式會社公司所述，員工一生平均工作的時間佔約 1/5，因此搭配給予員工適當的發揮空間也是很重要的一環。如此一來，員工獲得肯定後凝聚公司向心力後，可以使公司創造力及效益更上一層樓。

### 參考文獻

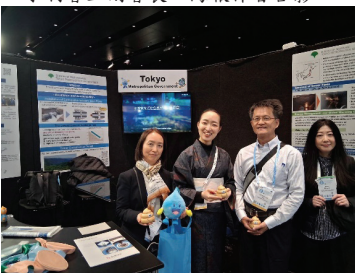
- 1.10th IWA-ASPIRE Conference and Water New Zealand Conference & Expo 2025，Conference Handbook，114年9月。
- 2.東京水道株式會社，技術系採用案內資料，114年9月。



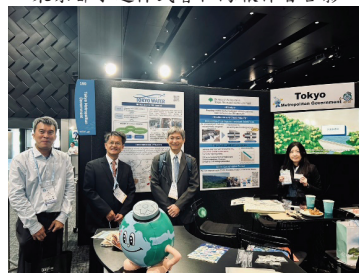
水利署王副署長、海報作者合影



東京都水道株式會社海報作者合影



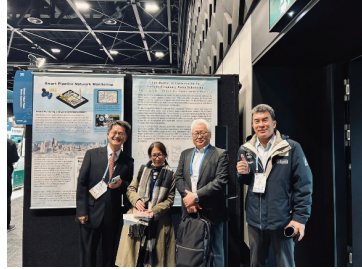
展場東京都水道株式會社人員合影 1



展場東京都水道株式會社人員合影 2



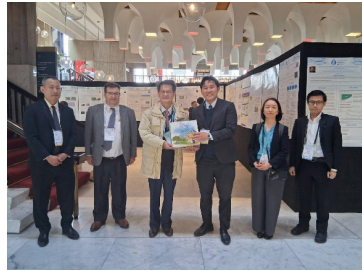
大會開幕前合影



與日本東北大學教授合影



展覽現場講解



東京都水道株式會社人員互相致贈禮物

## 作者簡介

### 李建興先生

現職：台灣自來水公司總管理處研訓處組長  
專長：資訊規劃、機電控制、AI 應用

### 林美良女士

現職：台灣自來水公司總管理處營業處組長  
專長：營運規劃、企業管理

### 林志憲先生

現職：台灣自來水公司第八區管理處課長  
專長：工程規劃、機電控制、AI 應用

### 蘇柏源先生

現職：台灣自來水公司南區工程處主任  
專長：自來水工程監造、土木工程

### 葉文正先生

現職：國立屏東科技大學土木工程學系專任副教授  
專長：土木工程、結構工程、橋梁工程及數值模擬

### 李明輝先生

現職：國立屏東科技大學土木工程學系專任教授  
專長：土木工程、軍事工程、結構工程及估測理論

## 協會訊息

### 文/自來水協會

一、114 年 11 月 14 日舉辦第 42 屆自來水研究發表會，研討會發表，包括「工程技術」、「營運管理」、「水質安全」、「供水服務」，此次特別增設「青年水務專家工作坊」，此工作坊不僅是論文發表的舞台，更是一個專門為水務新鮮人量身打造的互動平台，透過與資深專家、學者的面對面切磋，強化技術傳承、促進跨單位協作，為台灣自來水事業之長遠發展厚植人才儲備。



自來水研究發表會－主題：【工程技術】



青年水務專家工作坊

二、第 20 屆技術研究委員會第 10 次會議於 115 年 1 月 19 日召開決議通過，研究計畫名稱：自來水延性鑄鐵管之壓扁實驗與有限元素模擬、研究機關：台灣自來

水公司及成功大學、計畫主持人：楊人仰、協同計畫主持人：潘文峰、研究人員：邱冠霖等。

三、第 20 屆管理研究委員會第 10 次會議於 115 年 1 月 26 日召開決議通過兩研究案，(一)研究計畫名稱：淨水場廢水零排放與排放模式之水質影響與成本效益比較研究、研究機關：台灣自來水公司、計畫主持人：陳文祥、協同計畫主持人：李蘊理、研究人員：簡廷原等，(二)研究計畫名稱：AI 強化資產管理平台暨數位分身技術研究－以直潭淨水場為例、研究機關：臺北自來水事業處、計畫主持人：楊道寧、協同計畫主持人：廖芳麟、研究人員：廖睿宏等。

四、第 20 屆理、監事會第 14 次聯席會議於 115 年 2 月 25 日召開。決議如下：

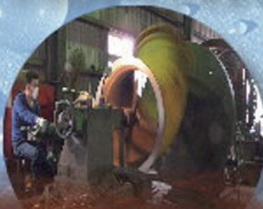
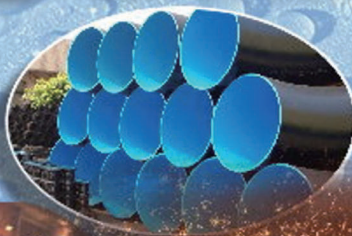
(一)通過「第 59 屆自來水節慶祝大會、第 21 屆第 1 次會員代表大會暨第 43 屆自來水研究發表會」籌備委員會委員及工作小組案。

(二)通過「第 59 屆自來水節慶祝大會、第 21 屆第 1 次會員代表大會暨第 43 屆自來水研究發表會」由台灣自來水公司第二區管理處與本協會共同辦理，安排於 115 年 11 月 16 日(一)~17 日(二)舉行。

(三)同意通過 65 位個人會員申請入會案予以追認備查，由協會發函通知繳費入會。



錦源鑄造工業股份有限公司  
GIN YUANG INDUSTRIAL CO., LTD.



### 專業離心鑄管廠



#### 主要產品：

- 口徑75mm~2600mm離心球狀石墨鑄鐵直管，長度4M~6M
- 口徑75mm~3000mm球狀石墨鑄鐵管件及配件
- 球狀石墨鑄鐵人孔、手孔及閘類
- 品質系統通過標準局ISO9001認證
- 實驗室通過全國認證基金會TAF實驗室認證

□總公司：台北市建國北路一段69號9樓 □鑄造工廠：桃園縣觀音工業區經建二路25號  
公司電話：02-25082976 工廠電話：03-4839540  
傳 真：02-25082980 傳 真：03-4838297



## 台水十二區板新廠 沉水式電動抽水機

### 交貨內容

馬力	900HP	500HP	200HP
數量	4套	2套	2套
極數/電壓	6P/3300V		
出水口徑	800mm	800mm	800mm
轉速	900rpm	1,200rpm	1,200rpm
額定揚程	38M	38M	20M
額定水量	120,000CMD	64,000CMD	45,000CMD



# 泉溢電機工廠股份有限公司

## CHUAN YI ELECTRIC MACHINERY WORKS CO., LTD.

公司地址：台中市南區五權南路175號1樓  
TEL：(04) 22627171  
web：www.cpem.com.tw

工廠地址：南投縣南投市永興路5號  
TEL：(049) 2252727  
e-mail：cp@cpem.com.tw



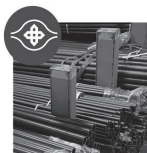
# 百晨企業有限公司

## NAKOSIN ENTERPRISE CO.LTD.

一店購足管材供應商

產品多元 · 誠信專業 · 品管嚴格 · 備貨充足 · 交貨及時 · 售後服務

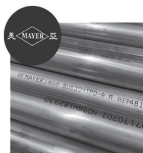
☑ 車隊齊全 ☑ 專業物流 ☑ 全台服務 ☑ 管線顧問



南亞塑膠工業股份有限公司



高興昌鋼鐵股份有限公司



美亞鋼管廠股份有限公司



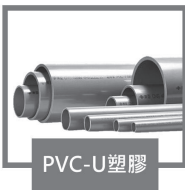
富山精機廠股份有限公司



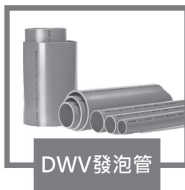
東光凡而工業股份有限公司



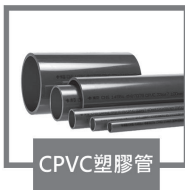
### 公共工程管線設備實績



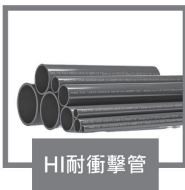
PVC-U塑膠



DWV發泡管



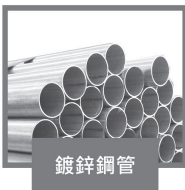
CPVC塑膠管



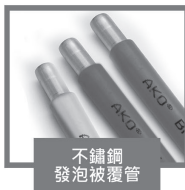
HI耐衝擊管



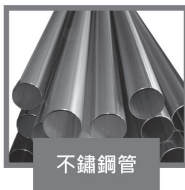
閥類



鍍鋅鋼管



不鏽鋼發泡複合管



不鏽鋼管

不鏽鋼配管 | 不鏽鋼、法蘭、免牙牙快速、管件、單壓接、管件、承插式、管件(日本)、承插式、管件(韓國)、溝槽式、管件、焊口式、管件、牙口式、管件、管材料、防震軟接、雙層接、互扣專用、雙層接、管件  
塑膠配管 | ABS、管件、CLEAR、接頭、PVC、管件及色、SCH80 CPVC、美規利熱管、SCH80 PVC、美規管、可換CD、管件  
水電小五金 | 吊管小五金、小五金-水錶類、接線BOX、螺絲類、配電小五金  
配電系統 | 小電料、接地系統、無熔絲開關、變壓器、配電箱、開關插座、電力電纜

鍍鋅破銅配管 | 保溫管、溝槽式、管件、焊口式、管件、牙口式、管件、管材料、金屬軟管、管件、鑄鐵管  
閥類 | 不鏽鋼、塑膠、溝槽閥、弛金鋼、考克鋼、鑄鐵、石墨鑄鐵、黃銅



WATER PIPE.  
TUNNEL BORING MACHINE.

- 管線推進工程
- 管道檢修工程
- 水池檢修工程
- 自來水管線工程

- 甲等自來水管承裝商，長年致力於自來水管線工程，擁有充足的專業人員、機械團隊、施工自主性高，無論新設檢視、清洗維護與管線修復等工法，皆累積深厚的施工經驗。



FAX. 傳真 — 02-28118943

TEL. 電話 — 02-28118945

ADDRESS 公司地址 — 新北市汐止區茄福街8號

MAIL 信箱 — huan.jan@msa.hinet.net

OFFICE 工務所 — 台北市士林區延平北路九段346號

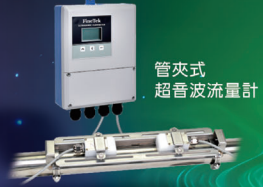


# 智慧水務新紀元



## 數據驅動， 精準治水

桓達科技，提供從水源到  
家戶的全方位監測方案



管夾式  
超音波流量計

(OIML 認證)  
電磁式流量計



C級 型式認證  
多重噴嘴電子水量計



一體式  
超音波流量計



面對漏水防治與能源管理的高標準要求，桓達科技憑藉數十年的  
專業計量技術，為台灣自來水事業量身打造智慧化解決方案。

### 智慧讀表

電子式水錶結合物聯網通訊，告別人工抄表，精準掌握每一滴水。

### 管網優化

高精度超音波與電磁式流量計，即時監控供水品質，主動發掘漏水疑慮。

### 永續經營

低功耗設計與穩定數據傳輸，協助企業達成 ESG 減碳目標。



掃描QR Code  
開啟您的智慧水務之旅

## 深耕專業 · 在地服務，與台灣水務界共同成長

桓達科技股份有限公司

FineTek Co., Ltd.

新北市土城工業區自強街 16 號

TEL: 886 2 22696789

EMAIL: [info@fine-tek.com](mailto:info@fine-tek.com)

台中營業處

高雄營業處

上海子公司

新加坡子公司

TEL: 886 4 23370825

TEL: 886 7 3336968

TEL: 86 21 6490 7260

TEL: 65 64526340

印尼子公司

美國子公司

德國子公司

TEL: 62 (021) 2923 1688

TEL: 1 909 598 2488

TEL: 49-(0)4185-8083-12

<http://www.fine-tek.com>



# 集美工程顧問股份有限公司

## Jami Engineering Consultants, Inc.

### 規劃 / 設計 / 監造

- 自來水工程
- 污水下水道工程
- 水利防洪工程
- 潛盾 / 推進工程
- 管道檢修工程
- 道路 / 景觀工程
- 建築 / 結構工程

金獎品質 卓越肯定

• 113年公共工程金質獎優等

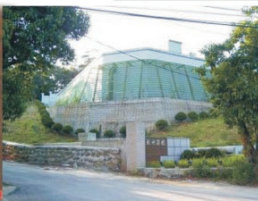
• 113年臺北市府公共工程卓越獎



輸水幹管潛盾工程



秀朗橋2,000mm管接頭修復



北水處伸仗板5,000噸水池



金門地區新建高架水塔、配水池及加壓站工程

地址：新北市樹林區中山路三段163巷7號5樓  
 電話：02-26683488 傳真：02-26683489  
 E-mail：jami0001@ms23.hinet.net

# 潔淨水環境，由川源開始

## 永續泵浦系統，守護每一滴未來的水

CVS型



HN型



MVN型



CP(T)型



GES型



VAS型



KES型



KMP型



綠色・安全・永續經營

**川源股份有限公司**  
GSD INDUSTRIAL CO.,LTD

Tel : (02)2694-2732  
<http://www.cmsa-pumps.com/>  
[cmsa@cmsa-pumps.com](mailto:cmsa@cmsa-pumps.com)



# STI 昭和國際科技股份有限公司

Corrugated Stainless Steel Tubes (C. S. S. T.) for water supply

## 自來水用不銹鋼波狀管



PSB Singapore

Choose certainty. Add value.

CNS 15604-G3276 / JWWA G119

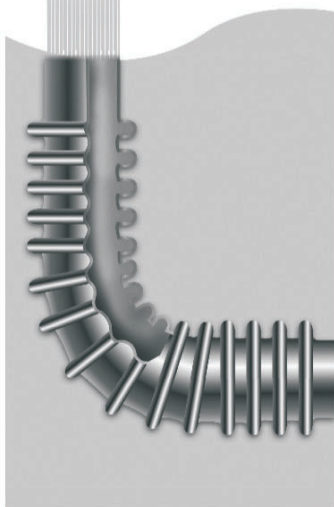
### 昭和的不銹鋼波狀管

### 日本公認防治漏水效果最佳的給水管

不銹鋼波狀管係由株式會社昭和螺旋管製作所於三年前研製製造，因具有「徒手彎曲」、「不需接頭」等特色，在日本被視為最具耐用性之優質管材，且被多數的自來水事業單位採用。2011年，〈昭和國際科技股份有限公司〉成立後，不銹鋼波狀管正式在臺灣生產，並以嚴格的品質管理作為信賴可靠產品之保證。

《CNS 15604-G3276 / JWWA G119》【昭和的不銹鋼波狀管】之特色 / Quality of CSSI

- 01 為日本檢驗單位認證，屬耐震性極佳之管材故給水管能長期維持正常功能  
採用較厚且具有高強度之不銹鋼材，可承受強大衝擊力，於施工時亦容易受到擠壓。
- 02 依據埋設用途考量  
採用具有耐久性與耐蝕性之優良不銹鋼材  
採用具耐蝕性之SUS316，屬於耐久性也之「綠色管材」。
- 03 方便於狹窄空間施工  
且不需擔憂操作不當造成的漏水問題  
因波狀結構精可「徒手彎曲」，能隨意調整彎曲角度，即使非資深技師人員操作也不會發生施工不良情形。
- 04 不需使用接頭，可降低施工成本與漏水風險  
免焊是為低漏水影響大原因，不需接頭之不銹鋼波狀管不論在材料或施作層面而言，都可大幅降低漏水。
- 05 嚴格品質管理，提供優質MIT產品  
採用內業與標準生產之高品質管材，製作過程經嚴格品質控管，由「昭和的不銹鋼波狀管」更是唯一榮獲中華地區國家標準《CNS 15604-G3276》之認證。



《CNS 15604-G3276 / JWWA G119》【昭和的不銹鋼波狀管】 / CSSI

◎規格及規格

規格	管徑	用途例
波狀管A	CSSI SUS316 304	一般給水配管
波狀管B	CSSI SUS316	海水用波狀管(高耐腐蝕性之給水配管)

◎波狀管之代表

規格	波狀管A		波狀管B		波狀管C		規格	規格
	管徑	管壁厚度	管徑	管壁厚度	管徑	管壁厚度		
15	15.0	0.8	15.0	0.8	15.0	0.8	15	15
20	20.0	0.8	20.0	0.8	20.0	0.8	20	20
25	25.0	0.8	25.0	0.8	25.0	0.8	25	25
30	30.0	0.8	30.0	0.8	30.0	0.8	30	30
40	40.0	0.8	40.0	0.8	40.0	0.8	40	40
50	50.0	0.8	50.0	0.8	50.0	0.8	50	50

◎不銹鋼波狀管之規格

規格	規格		規格		規格		規格	規格
	管徑	管壁厚度	管徑	管壁厚度	管徑	管壁厚度		
15	15.0	0.8	15.0	0.8	15.0	0.8	15	15
20	20.0	0.8	20.0	0.8	20.0	0.8	20	20
25	25.0	0.8	25.0	0.8	25.0	0.8	25	25
30	30.0	0.8	30.0	0.8	30.0	0.8	30	30
40	40.0	0.8	40.0	0.8	40.0	0.8	40	40
50	50.0	0.8	50.0	0.8	50.0	0.8	50	50

STI 昭和國際科技股份有限公司  
Showa Technology International Co., Ltd.

【工廠】

台灣高雄市大寮區和發路789號  
TEL:03-4881220 FAX:03-4881230  
E-MAIL: sti.tw@outlook.com

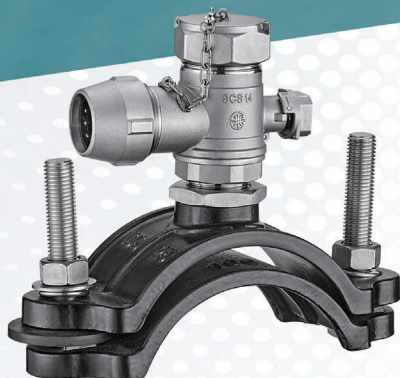
SRS 株式會社昭和螺旋管製作所  
Showa Rasenkan Seisakusho Co., Ltd.

【總公司】

日本174-0051東京都板橋區小豆澤2-26-10  
TEL. +81-3-3967-5751 FAX. +81-3-3969-3287  
【營業部、技術部】  
日本115-0051東京都北區浮間5-3-3  
TEL. +81-3-3966-2286 FAX. +81-3-3967-2085  
【官方網站】 http://www.showarasen.co.jp



專利  
新品



鞍帶分水栓



不斷水式鑽孔機及銅套機(鞍帶分水栓用)

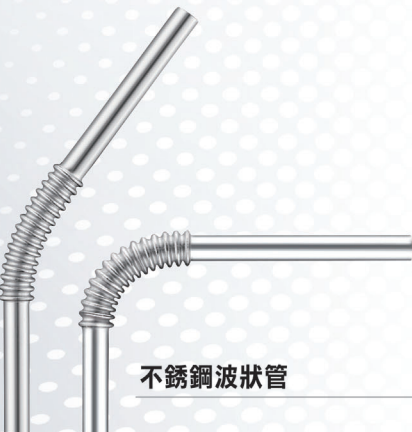
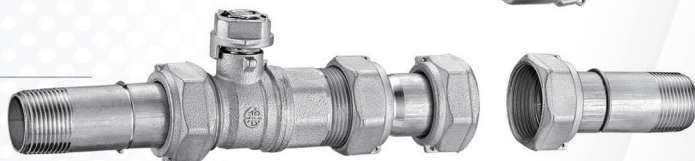
不銹鋼直型接頭



不銹鋼90°彎接頭



伸縮止水栓(球塞型)



不銹鋼波狀管



立式表位組(台水)





惠民實業股份有限公司

HUIMIN ENVIRONMENTAL TECH CORP.

評價  
優等

專業  
工程

品質  
第一

最完整水資源處理能力  
及上下游整合



水利代操作  
污水處理廠

淨水場-自來水  
海水淡化

再生水廠

逆滲透薄膜清洗  
廢棄物(污泥)處理



下水污泥處理碳化示範驗證廠  
統包工程施工、設計  
榮獲 第20屆公共工程金質獎



雲林高鐵特定區污水處理廠暨  
新虎尾溪截流站維護管理  
榮獲 第21屆公共工程金質獎



斗六市水資源回收中心維護管理  
榮獲 第22屆公共工程金質獎



嘉義縣水門栗子崙抽水站維護管理  
榮獲 第22屆公共工程金質獎

累積超過70年 專業接頭技術 (SK) 東霖國際興業有限公司  
(株)川西水道機器 台灣總代理

# HDPE管專用機械式可撓鑄鐵接頭 ISO04427-2



- ✓ 簡單快速搶修
- ✓ 不須熱熔電焊
- ✓ 耐震耐用50年

外徑：110、200、250mm、315mm



觀看裝接示範影片



觀看現場施工影片



東霖官方網站

## 特色

1. 不需內襯管、不需潤滑劑，無融接不良之漏水風險，**最適快速搶修**。
2. 管件長度不內縮，左右側高低差或切口不平整皆可接合，增加施工便利。
3. 防止因管內水壓及溫度變化所產生之伸縮變化，強化管件韌性。
4. SDR11 及 SDR13.6 可以共用，方便施工、減少備料降低庫存成本。
5. 特殊固定圈設計，**具伸縮可撓耐震、防鬆脫**發揮優異的接合力。

## 種類規格齊全 符合現場施工需求!



直管 HP-P



法蘭 HP-F



止水型 HP II



三通 HP-T



彎頭 HP-B



HDPE 100 × DCIP 100



HDPE 250 × DCIP 200

服務專線: (07) 558-1488  
加入東霖 LINE@: @172nhbhn  
E-mail: service@kawanishi.com.tw



# JHS

金弘盛企業股份有限公司



金弘盛企業股份有限公司成立於民國98年，引進日本專業測漏技術，及美國、德國專業測漏設備，成為專業的台灣測漏公司，致力於分區計量管網建置、地下管線漏水檢測業務。為找回珍貴水資源而努力。

## ECHOLOGICS®

a MUELLER brand



**FAST**  
GROUPE CLAIRE

### 專業營業項目

1. 管線漏水檢測、定位
2. 分區計量管網建置
3. 閘栓、人(手)孔定位
4. 用戶計量表抄錄
5. 透地雷達探測、定位
6. 免開挖管線探管
7. 美、德測漏設備代理

金弘盛企業股份有限公司 台北辦公室  
地址：台北市內湖區民權東路六段21巷31號5F  
電話：(02)8791-6656 傳真：(02)8791-7303



# 國統國際股份有限公司

Kuo Toong International CO., LTD.

國創工程股份有限公司  
Kuo Chuang Engineering Co., Ltd.



建壹營造股份有限公司  
Chien Yi Construction Co., Ltd.

誠信經營/技術創新/永續治理/專業服務



## 營業項目

延性鑄鐵管、管件

輸水管線設計、施工、營運

可撓管、伸縮接頭

海水淡化廠設計、安裝及營運

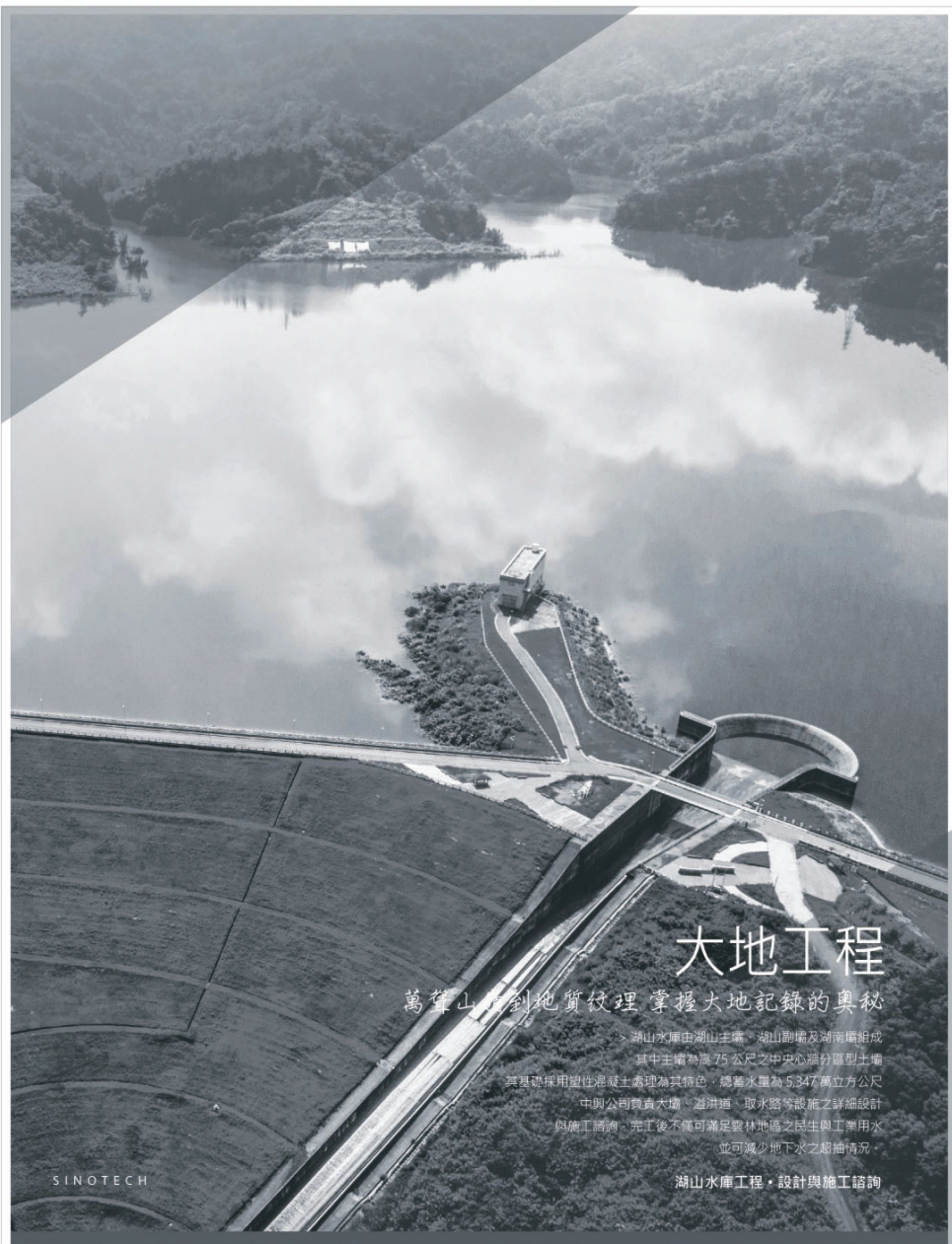
鋼管、鋼製推進管

淨水廠、污水廠設計施工營運



TEL: 07-5573755  
FAX: 07-5575300

<https://www.kti.com.tw/>  
高雄市左營區大順一路91號8F-5



## 大地工程

萬崙山不測地質紋理 掌握大地記錄的奧秘

> 湖山水庫由湖山主壩、湖山副壩及湖南壩組成  
其中主壩為高75公尺之中央心牆分層型土壩  
其基礎採用澀性混凝土處理為其特色，總蓄水量為5,347萬立方公尺  
中興公司負責大壩、溢洪道、取水路等設施之詳細設計  
與施工諮詢，完工後不僅可滿足農林地區之民生與工業用水  
並可減少地下水之超抽情況。

湖山水庫工程・設計與施工諮詢

SINOTECH

本廣告圖文未經同意不得轉載  
中興工程顧問集團廣告



正派經營 品質保證 追求卓越 創新突破

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







# 聯揚營造有限公司

*Lianyang creates CO., LTD*



潛鑽工程



推進工程



不斷水施工



熔接室專利申請中



鋼便橋



水管橋

高雄總公司:高雄市左營區重平路15號 TEL:07-3489991 FAX:07-3505522  
萬巒工務所:屏東縣萬巒鄉重慶路1-8號 TEL:08-7811209 FAX:08-7811534  
台南大潭工務所: TEL:06-2783700 FAX:06-2783500

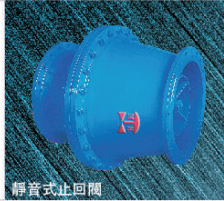


明冠造機企業股份有限公司

MING KUAN MACHINERY MANUFACTURING ENTERPRISE CO., LTD.



對夾蝶閥



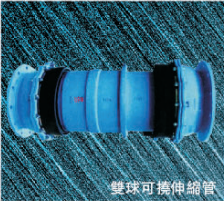
靜音式止回閥



TAIWAN



法蘭式蝶閥



雙球可擴伸管



動態測試系統



固定球型閥



水力控制閥



彈性座封偏心旋塞閥



鋼製可擴管試驗



TCV斜盤式油壓緩衝止回閥



立體倉庫



MING KUAN



多噴孔控制閥



球型控制閥



液控蝶閥



彈性座封閘閥



動態類比測試系統

VALVES

公司(工廠): 811 高雄市楠梓區加昌路635號

電話: (07)361-7112 傳真: (07)363-2905

業務部: 104 臺北市中山區民權東路3段66號8樓

電話: (02)2501-2901 傳真: (02)2505-7024

MAIL: mk8899.taipei@msa.hinet.net