自來水會刊第 44 卷第 1 期(173)目録

實務研究

看	胃慧水表推動之研究-以北水處為例
	郭淑珍、林明美、廖宜洋、林佳宜、翁弘翰、侯宛儂、李敏年1
1	、區用戶用水型態分析與合理水壓管理—以澎湖馬公系統為例
	蕭欣宜、吳俊毅、陳依玫、林孟珠、謝東穎12
本期	月專題 工程技術
淺	色談鋼纖維混凝土應用於自來水工程 張民岦、熊彬成、鄭宇哲、鄭格浩、王傳政21
¥	大樓裝設起重機結構計算之研討曾浩雄30
ı	「雲林至嘉義系統送水管備援複線工程-雲嘉複線水管橋」工程簡介
¥	、口徑HDPE自來水管潛鑽施工簡介 ·············趙文燦,許哲嘉,張志仲,許聖富····· 45
一般	た論述
当	中世代自來水從業人員應備的數位智能一兼論數位學生邱嘉南53
É	日來水國際研討會之GenAI學習方法論—如何快速建立國外論文的導讀與應用
	時佳麟、張瑛興61
É	日來水用高壓沉水式抽水機效能應用探討
••	許登發、李育樟、廖芳麟、陳德記、黃耀賢、梅英昌、李家裕、張國馨73
協會	↑與你
藿	欢迎投稿114年「毎期専題」
4	P華民國自來水協會會刊論文獎設置辦法······52

封面照片: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,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)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」、「土木工程料」。

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○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

黄志彬

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516

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



智慧水表推動之研究-以北水處為例

文/郭淑珍、林明美、廖宜洋、林佳宜、翁弘翰、侯宛儂、李敏年

摘要

臺北自來水事業處(下稱北水處)轄區約 168 萬只水表,因應未來抄表人力不足,及 配合智慧城市政策,2015年起針對大用水戶 進行智慧水表試辦,並逐年擴大至機關學 校、新建社宅、新建案與既有建物,2024年 底已建置 74,450 只智慧水表; 另完成 3 梯次 智慧水表技術試煉以及 2020 年營運測試作 業,成功媒合技術廠商合作及能力提升、擴 大智慧水表產業。

本研究旨在彙整北水處智慧水表推動 歷程,總結智慧水表推動成果、說明管理系 統發展, 並探討智慧水表於用水異常的應用 與改善效益、分析設備故障與傳輸問題的解 決方案等多面向策略, 進一步針對歷年經驗 回饋,研議後續推動方向,期能作為自來水 事業未來推動既有建物擴大換裝智慧水表 擬定政策,及智慧水表數據應用推廣之參 考。

關鍵字:智慧水表、技術試煉、營運測試、用水異常

一、前言

北水處自 2015 年起推動智慧水表,從初 期試辦到 2020 年推動新建案全面安裝智慧 水表,期間亦分階段辦理技術試煉及營運測 試,迄今已完成超過7萬只智慧水表安裝; 本研究即在針對北水處智慧水表推動歷程 進行梳理,以及用水異常改善效益進行分 析,同時結合管網管理,發掘智慧水表優先 換裝推動標的,以期望分享經驗作為後續推 動之參考。相關成果摘述彙整北水處歷年研 究成果、檢討會議,以及透過自動讀表業務 管理系統數據以彙整呈現,惟受限於下列事 項,部分成果無法完整展示:

- 1.用戶用水異常改善成效為研究重點之一, 惟用戶內線涉及私人領域,用水異常警示 發生時,用戶端若未能改善,則警示案件 及樣態無法納入統計。
- 2. 資料蒐集自 2015 年至 2024 年,惟營運測 試 2.0 將於 2025 年才能全數完成建置,智 慧水表傳輸率僅能依提報完成數量計算, 尚無法呈現不同供水方式及建物環境對智 慧水表傳輸影響,及搭配小區計量管理成 效因時程不及,無法展示說明。

隨著北水處持續推動智慧水表建置與 營運測試,以上成果將作為持續研議項目。

二、文獻回顧

智慧水表之自動讀表系統架構,係由 「水量計」(下稱水表)搭配相關之不同模式 「讀表通訊模組」共同組成,模組透過電子 訊號直接傳輸或表盤面指示器影像辨識或 脈衝訊號計數等技術讀取水表數值,並透過 無線網路傳輸技術,將數據傳送至相關管理 平台,達成自動資料傳輸功能(如圖1所示); 依模組結合水表形式,可分為單一水表搭配 一只讀表通訊模組(下稱單傳),或者多只水 表搭配一只表讀通訊模組之集中傳輸型(下 稱集抄)。



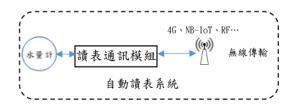


圖 1 自動讀表系統圖

整理智慧水表主要功能有以下 4 項:

- 1. 擷取表計值:取代人工抄表,減少人為錯 誤判讀、謄寫,更為不易抄見之屋內表的 良好讀表方案,以達降低人力作業、提升 計費數據正確性、縮短計費周期等效益。
- 2.監控用水量:對於大用水戶,可線上即時 管理用戶用水情形,取代傳統低頻率的拜 訪式抄表,防止不易察覺的漏水情事。
- 3.服務與溝通:察覺用戶端的異常行為,如 **連續用水可能為漏水**,可提早通知改善。 另國外亦有應用於獨居長者照護,如多日 無用水可能發生意外等,亦可透過智慧水 表應用使精緻化客戶服務得以推行。
- 4.數據分析應用:透過數據庫累積以進行各 式分析,如用戶用水行為、供需平衡、水 表準確性等,結合管網管理 GIS、MIS、 SCADA 等資料庫後更有無限可能,助於用 水調度、水理分析、水表管理之利器。

三、北水處智慧水表推動歷程

2015年起推動智慧水表,可分為大用水 戶及府屬機關學校、新建社宅、新建案、前 瞻計書、技術試煉及營運測試,說明如下:

(一)大用水戶及府屬機關學校

為實踐北水處 2015 年水價調整的承諾 與回饋,有鑑於當時月平均用水量千度以上 之直接表及總表超過4千只,雖僅佔總用戶 數 0.19%,用水量卻高達轄區用水量 25%以

上,屬重點用戶,2015至 2018 年期間免費 建置共計 1,809 只,2019 年針對新增重點用 戶及月均200度以上府屬機關,免費建置共 計 1,002 只,2022 年再針對新增重點用戶及 月均100度以上府屬機關,免費建置共計305 只,已建置數量總計3.116只(歷程如下如表 1) •

表 1 大用水戶及府屬機關學校建置數量

年度	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	合計
大用 水戶	100	750	950	9	590	0	0	89	2,488
府屬 機關 學校	0	0	0	0	412	0	0	216	628
合計	100	750	950	9	1,002	0	0	305	3,116

(二)新建社宅試辦

配合北市府推動公共住宅智慧社區, 2015年於興隆社字1區開試辦新建社字免費 建置智慧水表,2019年止陸續完成興隆社宅 2 區、健康社宅、青年社宅及東民社宅等智 慧水表建置,共計 2,330 只,其形式以總表 單傳、分表集抄為主,頻率為1小時讀表1 次,1 天回傳 1 次。

智慧水表效益不僅限於北水處,更可助 於申請智慧建築認證,依據「臺北市公共住 宅智慧社區建置規範手冊(2.0),北水處配合 市府社宅提供 API 介接,將總表、各公共水 表及用戶的用水資訊至社宅之中央控制系 統,以視覺化顯示連續之用水量資訊,符合 智慧建築標章指標之節能管理指標。

(三)新建案付費建置智慧水表

為落實臺北市發展智慧社區政策,北水



處於 2018 年即修改公告收費標準,增加建置 智慧水表之「智慧水表加值服務收費價格 表」,建商可付費升級使用智慧水表,以提 升建案價值。2019年試辦期間共3個建案申 請,合計333只智慧水表。

另為應對極端氣候影響及節約用水保 護環境意識,及因應臺北市議會定期大會多 位議員提案新建案強制裝設智慧水表,北水 處研修相關法令規章,並公告自 2020 年 1 月1日起,新建物申請接水案全面採用自動 讀表(AMR)系統功能之智慧水表;採購方式 經過多次檢討,目前以北水處僅購入水表, 讀表通訊模組採樣本穩定性測試型態,並由 廠商自行評估各場域所需數量方式辦理,推 動迄今已建置超過4萬戶。

(四)前瞻計畫(木柵二期)

2018年,經濟部水利署為探討智慧水表 對小區家戶建置之成效,於前瞻基礎建設委 託北水處代辦「臺北智慧水網示範區建置與 分析計畫」,針對高地供水孤立封閉區塊的 「木柵二期重劃區」建置智慧水表。

2018 至 2020 年完成 110 棟建物,包含 直、總表 540 只、分表與公共用表 1,737 只, 建置共計 2,277 只。

除了用戶水表換裝,並搭配供水監測資 訊平台,進行水壓水量分析、配合分區計量 作業,提早獲知爆管警訊、建立用戶用水分 析,且有助於供水調配等,為智慧水表協助 管網智慧監測提供成功示範。

(五)技術試煉與營運測試

2019 年鑒於國內提供完整智慧水表服 務的廠商較少,因此,分階段辦理技術試煉 與營運測試(圖 2),不僅助於北水處推動既有 建物智慧水表建置,更刺激產業發展,達到 雙贏。



圖 2 智慧水表推動各階段規劃

1.技術試煉 POC(Proof of Concept)

2019 年至 2022 年間辦理 3 梯次「技術 試煉」,是全國首例以媒合供應鏈方式整合 團隊參加,團隊組成包含團主、水表商、讀 表通訊模組商及系統商等,每隊以60只水 表之規模,測試軟硬體技術可行性。試煉場 域模擬一般公寓(I)、集合住宅(II)及單獨表位 (III),以正確率與傳輸率作為評核項目。成 功媒合 11 組團隊、19 家廠商,完成 720 只 水表測試。技術試煉成果以「臺北供水區智 慧水表推動策略」榮獲 2021「智慧城市創新 應用獎」,是政府智慧治理組唯一獲獎單位。 2.營運測試 FOT(Field Operational Test)

2020 年開始辦理測試, 2023 年底完成, 由 7 組廠商團隊得標。測試場域以分表 12 戶以上且全棟水表屆齡占比高之大廈集合 社區為主,期望達到以下目的:

(1)擴大技術可行性測試:擴大試辦範圍,委 託第三方公正單位進行傳輸率與正確率

測試過程監測及結果驗證。

- (2)商品化基本要求:鑑於臺灣高溫潮濕氣候 及用戶自主杳看水表需求,智慧水表各項 設備須具防塵防水之高耐受性及表值可 視性。
- (3)整體維運成效評估:確認團隊設備規格與 產能、傳輸技術與穩定度、技術品質與維 運管理能力。

3.營運測試 FOT 2.0

2024 年推動,測試場域以管網管理為軸 心,結合北水處計量小區劃設安裝範圍,劃 區內直接表、總表全面建置智慧水表,分表 以長期自抄戶及用水量較高用戶優先換 裝,營運期配合水表使用年限為8年,推動 說明如下:

- (1)勞務營運模式:向廠商採購劃設區域內用 戶計量及傳輸數據服務,廠商於北水處指 定區域建置智慧水表,並於水表使用期間 提供水表讀值。
- (2)買服務模式:水表及讀表通訊模組不列為 機關財產,屬廠商做為提供勞務服務之媒 介。履約內容納入換表作業,由得標廠商 自行媒合換表商,簡化流程亦減少介面摩 擦,減輕北水處作業負擔。
- (3)不限讀表技術:以達成自動數據傳輸功能 為目的,不限智慧水表接合形式(如單傳、 集抄)及讀表技術,廠商依數據服務及維護 成果分期分級計價。
- (4)廠商自主管理 VM 或插件:廠商自備 VM 空間撰寫插件或進行自主管理,數據傳輸 至北水處指定系統,過程符合資安需求。

有關北水處執行新建案、技術試煉及營 運測試等案件執行差異如表 2 所示。

表 2 北水處新建案、既有建物(POC、FOT、 FOT2.0)執行差異表

項目	新建案	既有建物			
垻日	机建余	POC	FOT	FOT2.0	
推動時間	2020年 起	2019-202 3 梯次	2020-202	2024-203	
使 用期間	8年	6個月	3年	8年	
口徑	20-40mm	20-40mm	20-40mm	13-40mm	
主要對象	經核 審定 建 大 樓	機關擇定代表性場域	12 上 世 上 世 妻 妻 或 式 住宅	結區區表分先 小劃總抄優	
數量	10,000 只 /年	60 只*12 家	2,200 只 *7 標	約 9,000 只*4 標	

四、業務管理系統發展說明

(一)第1階段:智慧水網系統

搭配社宅試辦裝設,北水處建置智慧水 網系統,用戶及社宅管委會、北水處可依權 限使用(如圖 3、4),用戶可隨時查詢即時水 質及用水情況以進行管理,北水處亦可透過 智慧水表數據,進行用戶用水模式等分析; 北水處以此案獲頒臺北市電腦公會「2016智 慧城市創新應用獎」之智慧家庭優勝獎項。



圖 3 社區管委會系統畫面





圖 4 網站管理者系統畫面

(二)第2階段:自動讀表業務管理系統

2017 年因應業務管理需求建置新系 統,針對設備斷訊及低電壓、用水量異常及 點位建置異常等項目進行自動成案通知及 每日報表檢視,系統結合異常分析與異常處 理流程,協助同仁能更完善的查察及處理設 備與用水異常案件,提升處理效率;並採平 行作業處理,再批次處理進資料庫,以利達 到效能需求,亦隨著社宅智慧水表建置,系 統提供各社宅用水度數供介接。

為協助用戶自主用水管理,2018年啟用 「智慧水管家」系統(如圖 5)及申請商標權, 使北水處成為國內首個利用智慧水表提供 用戶加值服務的自來水事業單位。



圖 5 智慧水管家系統查詢用水量及用水趨勢

(三)第3階段:新AMR平台系統

2023 年因應持續推動新建案裝設智慧 水表,管理數量及數據日益增多,考量系統 效能及擴充性, 北水處進一步推動新 AMR 系統平台建置;此階段針對未來支援 168 萬 只水表上線使用設計,採平行彈性擴充軟硬 體設計,系統架構採雲地分工及分散式可擴 充架構,公有雲 A 為資料管理系統,負責數 據收集並提供廠商使用;公有雲 B 為智慧水 管家系統,開放民眾查詢,並於地端建立業 務管理系統,提供機關內部使用。

新系統可支援已建置智慧水表每日 24 筆數據收集與日用水量結算、自動異常成案 歸類、契約管理、罰則管理、派工管理、施 工管理、績效管理及統計分析等作業。系統 優化功能特色如下:

- 1.建構關鍵績效指標儀表板,視覺化設計輔 助管理。
- 2.用水突增減預設警示以用水級距自動歸類 功能, 滿足不同用水需求。
- 3.連續用水預設警示以每日最低瞬間值平均 自動警示設定,避免逐栓設定警示。
- 4.AMR 水栓中止、停水及復水自動派工功 能,提高行政效率。
- 5.系統化契約管理流程,有利進度掌控。
- 6.水管家重點用戶設定及依供水方式設定用 水量顯示,便利用戶自主管理。

五、執行成果探討

(一)技術試煉(POC)推動成果

第1梯次共6組團隊、第2梯次共4組 團隊、第3梯次共2組團隊,合計12組團隊, 各參與團隊與通訊技術如表 4 所示,執行成 果以廠商正確率及傳輸率呈現。



表 4 POC 參與團隊與技術列表

廠商	水表型式	讀表方式	通訊技術
А	機械表	照相	WiFi/4G
В	電子表	數位	NB-IoT、4G
С	電子表	數位	NB-IoT、4G
D	機械表	脈衝	NB-IoT、RF、4G
Е	電子表	數位	NB-IoT、4G
F	電子表	數位	Sigfox
G	機械表	脈衝	NB-IoT
Н	機械表	照相	LoRa/NB-IoT
I	機械表	脈衝	RF/4G
J	機械表	照相	4G
K	機械表	照相/脈衝	NB-IoT、LoRa、 Cat-M1
L	機械表	脈衝	NB-IoT

- 1.正確率:為讀表值與表頭值相符比率,成 果如圖 6;分析影響正確率因素包含設定 錯誤或讀表通訊模組異常(如進水、曝光) 導致數值未正確回傳或數值錯誤。
- 2.傳輸率:為個別水表數據代表傳輸設備能 力之統合計算,數據應於24小時內傳輸至 伺服器,成果如圖 7;分析影響傳輸率因 素包含逾時回傳、無資料回傳及回傳資料 錯誤,惟整體平均能在3天內完成資料補 傳。



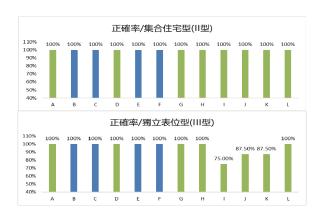
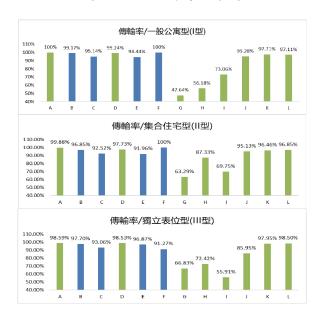


圖 6 POC 正確率結果圖



POC 傳輸率結果圖

技術試煉雖助於產業發展,惟因安裝數 量少、試煉場域較既有建物場域仍有差異, 如表箱內裝設空間不足、通訊環境不良及民 眾溝通問題等,爰北水處於 2020 年接續辦理 營運測試。

(二)營運測試(FOT)推動成果

由7組團隊參與,每隊建置約2千只, 全案共建置 15,495 只智慧水表,各參與團隊 與通訊技術如表 5 所示,測試期間分 3 階 段,分別為第1階段為調校成果驗測期(2個 月)及第2及3階段為傳輸運作期(各為期1 年), 並委由第三方公正單位進行資訊流監



測、驗證及驗測成果計算。

表 5 FOT 參與團隊與技術列表

廠商	水表型式	讀表方式	通訊技術
А	機械表	照相	LoRa/NB-IoT
В	電子表	數位	Sigfox
С	電子表	數位	NB-IoT/4G
D	機械表	脈衝+照相	RF/4G
Е	電子表	數位	NB-IoT/4G
F	電子表	數位	NB-IoT/4G
G	電子表	數位	NB-IoT/4G

1.各團隊驗測成果

驗測成果如表 6 所示,其中正確率為實 際回傳數值與實際抄表資料相符數量比 率,傳輸率為實際回傳符合規定之水表數量 與實際安裝水表數量之比率,其中6家團隊 具一定服務品質,與北水處近3年抄見率約 99.74%相近,而D廠商因水表與讀表通訊模 組結合後防水性不佳,導致成績不佳且持續 下降。

2.傳輸設備安裝及適用性上異常態樣

(1)設備防護能力可再提升:

表位環境多元(積水積土、高架地板及屋 內表等)考驗現場讀表通訊模組在安裝上牢 固性,經統計3家團隊(A、B、D)設備明顯 掉落之情形;5家團隊(B、C、E、F、G)通訊 接頭設計不佳導致接觸不良或進水之情 形;1家團隊(D)水表與讀表通訊模組連結處 防塵防水性不佳。

(2)表值可視性:

2 家團隊(A、D)水表與傳輸設備結合

後,現場不易辨識表號及水表指針。

表 6 FOT 各階段成績

		傳輸率			正確率	
商商	調校期	第一階段	第二階段	調校期	第一階段	第二階段
標準	80%以 上	85%以上		90%以 上	95%.	以上
А	100%	100%	100%	94.47%	99.99%	99.93%
В	98.71%	99.42%	96.41%	97.90%	99.57%	98.38%
С	100%	99.91%	99.78%	99.91%	99.61%	99.34%
D	97.69%	79.62%	46.87%	86.35%	88.20%	72.97%
Е	99.95%	99.82%	98.90%	99.91%	99.61%	99.17%
F	100%	100%	99.96%	99.96%	99.98%	96.53%
G	100%	99.82%	98.74%	99.95%	99.70%	98.79%
平均	99.48%	96.94%	91.52%	96.92%	98.09%	95.02%

3.瞬間值疑似異常讀表分析

正確率透過2個月人工抄表比對,與實 際傳輸有落差,如每1水栓1年僅抄表6次 但實際應傳筆數高達 8,760 筆,由於數據正 確性除影響趨勢圖判斷,嚴重時恐影響用戶 計費,為了解此問題,北水處將瞬間值大於 15 CMH 或小於-1 CMH 作為界線,模擬數據 異常情形,發現 A、D 廠商異常數據量顯著 較高,如表7。



表 7 瞬間值大於 15CMH/小於-1CMH 統計表

廠商	瞬間值小於-1CMH	瞬間值大於 15CMH
А	710	160
В	0	27
С	11	6
D	1,402	12,661
Е	61	64
F	26	32
G	25	28

經技術試煉與營運測試,發現傳輸率與 正確率為智慧水表穩定性的關鍵。傳輸率方 面,在合理的補回傳天數下,多數團隊可達 99%以上。正確率方面,技術試煉多數團隊 成績達 100%,營運測試達 99%以上,但部 分團隊於查核期間外出現疑似不合理數 值。由於正確性不僅關乎用戶計費,更為北 水處最基礎的工作,建議評估增加查核次數 等改善方式。

北水處透過技術試煉及營運測試已有 助廠商提生設備技術,且現階段參與廠商多 已能符合未來安裝需求,但規模仍有限,廠 商對於大量安裝供貨能力、8年運營能力、 資訊傳輸安全及建置成本持續上漲,仍是未 來大規模推動影響因素,評估後有必要進行 下一階段測試,以謀求最適推動策略,爰北 水處於 2024 年接續辦理營運測試 2.0。

(三)營運測試(FOT2.0)成果初探

由2組團隊參與,各參與團隊與通訊技 術如表 8 所示,由廠商進行智慧水表整體安 裝,150 日曆天內至少須完成直接表及總表 最低安裝量達 50%,另 210 日曆天內應全數 安裝完成,查驗合格後,一次給付換表相關 費用;另考量數據服務採購目的,廠商安裝 完成並提報後,以全區傳輸率(計價占比 80%) 及抄表日回傳成功率(計價占比 20%)於每雙 月月底合併估驗計價 1 次。契約訂有回傳正 確性相關罰則及設備維護管理異常排除期 限規定,以避免廠商選擇性放棄安裝及傳輸 管理。

表 8 FOT2.0 參與團隊與技術列表

廠商	水表型式	讀表方式	通訊技術
A 廠商	電子表	數位	4G/Cat-M1/NB-IoT
B 廠商	電子表	數位	Cat-M1/NB-IoT

- 1.全區傳輸率:廠商至少須每小時記錄 1 次 該時段實際水表數值,每日需回傳 24 筆各 時段資料,允許5日內補回傳,契約就每 月所有智慧水表應回傳總量及實際回傳合 計值之比例依級距計價,以契約而言,全 區傳輸率超過 95%,該項 100%給付傳輸 費,惟未達 60%者,則該期間不予計價。 以現階段提報完成數量,2家全區傳輸率 均達 95%以上,部分影響傳輸率場域,A 廠商透過外拉天線,B 廠商透過讀取電子 表內建儲存數值進行改善。
- 2.抄表日回傳成功率:若當月有抄表日,且 當日有1筆以上數值成功上傳系統即視為 抄表回傳成功; 考量北水處計費作業期 程,故規定補回傳以3日內完成者納入計 算,但當月若無抄表日,則以當月全區傳 輸率對應之計價級距。
- 3.回傳正確性:由系統針對回傳數值與機關 人工抄表資料進行查核,現階段比對尚未 有錯誤情形,綜合營運測試(FOT)經驗,電 子表採數位訊號直接傳輸,對於數據有較 高正確率,惟仍需長期觀測才能確認可靠 度。
- 4.設備維護管理:設備異常造成斷訊時,由

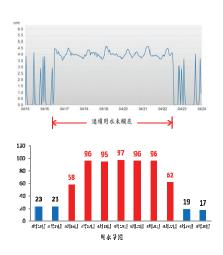


系統成案並通知廠商主動管理,由廠商於 接獲通知7工作天內復原,現階段廠商均 能依限完成。

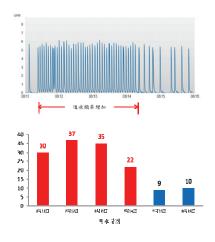
六、智慧水表運用執行成效分析

(一)用水異常樣態分析

智慧水表若僅單純取代人工抄表,對於 回傳之大數據分析與加值成效過於可惜,因 此在用戶服務,運用用水增加及連續用水等 異常警示,由系統進行異常用水成案,承辦 人針對異常案件進行處理,大幅提升用戶服 務品質,其中發現異常漏水態樣大致分為連 續用水異常(圖 8)及進水頻率異常增加(圖 9) 兩類。



連續用水異常態樣趨勢圖



進水頻率異常態樣趨勢圖

(二)預防性減少水資源浪費效益分析

統計至 2024 年 12 月底止, 北水處已協 助用戶發現用水問題並完成改善共計 7,464 件,相較傳統水表要等到人工抄表才能發現 異常用水,已達預防性減少水資源浪費約 1,215 萬公噸。再進一步分析發現,直接表及 總表占安裝數 10% 預防性減少水資源浪費 成效高達總量 91%,安裝效益較高,且因與 管網相連,可輔助漏控管理,應列為優先安 裝對象。

表 9 智慧水表協助水資源改善效益分析

2024 止	直接表	總表	分表	合計
安裝數(只)	5,282	3,852	65,316	74,450
改善數(件)	4,022	632	2,810	7,464
改善量	890.0	208.7	116.6	1,215.3

(三)傳輸異常案例分析與改善

智慧水表無法穩定且正常回傳數據,則 無法有效發揮加值運用效益, 北水處自 2019 年9月至2023年每季召開自動讀表設備異常 態樣分析會議,以檢討設備及傳訊品質、異 常斷訊及數據、廠商維護情形

1.異常案件異常原因分類:

為達成管理需求,以傳輸異常權責單位 進行大項分類,共區分為供應商、北水處、 用戶、外在環境及其他等5大項,再依團隊 工作權責細分及異常類型分析進行細項分 配,當異常或故障發生時,可迅速清楚對應 異常原因與歸屬(如表 10)。



表 10 自動讀表異常分類表

自動讀表異常原因及分類表 112.03.27修					
傳訊異常	權責單位	異常類型	異常原因說明		
	水表商	水表問題	水表無顯示 水表異常致模組無法讀取 水表LCD漏液 水表键頭不符 水表電力不足 水表電力不足 水表程度處斷裂需換表改善		
	換表商	換表問題	誤換表 水表換表後包商轉接頭未裝妥		
供應商	模組商	通訊模組問題	通訊模組電力不足 通訊模組無法回傳 通訊線頭進水透成無法回傳 天線損壞(設備因素) 通訊線損壞(設備因素)		
	(天龍) [日]	管理問題	海統點位建置錯誤 接收程式異常(廠商因素) 設備移動或更換 設備、天線掉落(廠商因素)		
	電信商	傳訊問題	SIM卡故障 基地台不足 電信商訊號問題 直總表表箱遮蔽(用戶未私改) 分表建物天線遮蔽(用戶未私改)		
*	處	本處問題	接收程式異常(本處因素)		
本處		用戶問題	電視性無過報用 電源快應問題低電式模組) 尚末中請網路 因施工等因素模組暫時收回 體物推構 直總表表箱遮蔽(用戶私改) 分表建物天線遮蔽(用戶私改) 多配理投 類品線違不明原因拔除 機組運破壞 模組運破壞		
外在環境		外力因素環境影響	設備、天線掉落(外力因素) 天線損壞(外力因素、含鼠咬) 通訊線損壞(含鼠咬) 表位積水、積土 雷擊		
其	性	其他問題	簡擘 待追蹤 其他(留備註說明)		

2.常見斷訊異常案件類型統計:

經統計 2021 年至 2023 年間 8,685 件斷訊 異常案件,常見異常類型前10名中(圖10), 屬於常態性發生、可由廠商持續精進原因為 電信商訊號問題、通訊線損壞(含鼠咬)、設 備移動或更換、通訊線頭進水造成無法回 傳、SIM 卡故障等 5 項,約佔總案件 47.05%。

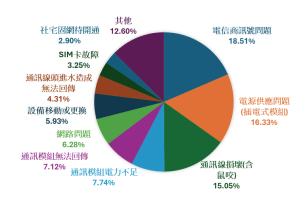


圖 10 斷訊異常案件各類型占比

透過會議分析及討論,有助促使廠商改 善設備及提升管理能力。

七、結論

北水處自 2015 年推動智慧水表迄今,以 不同試辦階段,促使國內產業萌芽與逐步具 備推動條件,陸續透過技術試煉及營運測 試,成功吸引不同產業廠商投入智慧水表產 業,更配合法規修訂,於2020年起規範新建 案全面安裝智慧水表,為智慧水表推動奠定 厚實基礎。

智慧水表雖已有多樣化產品及技術,然 現階段建置成本仍屬高昂,若推動轄區內既 有建物全面换装,将造成短期内盈餘降低, 恐不足支應其他自來水建設,評估後尚不宜 貿然導入全面換裝;且經參考國內外自來水 事業推動經驗,均在提供用戶服務之外,增 加結合漏水控制管理作業,協助達成淨零排 放,以提高推動成效。因此,在未來推動上, 建議如下:

- 1.應就營運測試 2.0 案作業流程與執行成果 進行滾動檢討分析;另因應標檢局水量計 檢驗規範之修正,相關配套措施等,應綜 合納入未來規範、單價與採購方案檢討。
- 2. 北水處現階段採智慧水表劃區裝設, 2024 年得標廠商均裝設電子表,考量電子表計 量較以往傳統機械表具有更靈敏感測,未 來應密切觀測用戶安裝前後計量變化,是 否有總表分攤差或低總表和擴大等情形, 以預為因應,避免爭議。
- 3.營業分處為智慧水表管理單位,現階段因 各區特性及人力考量,各營業分處多自行 設定異常標準,未來建置數量提升,應依 管理成果,進行經驗分享與探討,以研訂 系統預設標準。

- 4.現行智慧水表採每小時記錄 1 筆水表讀 值, 並彙整後每日 1 次上傳系統方式辦 理,惟針對小區計量測漏之應用需增加讀 表頻率部分,後續依測試可行方案制定規 節與單價,納入契約加值服務。
- 5. 臺北市發展智慧社區政策,北水處轄區內 新建案均安裝智慧水表,惟基於資安考量 及個人資料保護法規定,尚未開放私宅用 戶用水資訊介接;建議未來可修訂擷取用 戶用水資訊相關個資法令,並提供相對應 之規範或措施,以滿足智慧建築標章取得 規定。

參考文獻

- 1.中華民國自來水協會技術研究委員會,「智慧 水表之建置與應用發展」,中華民國自來水協 會104年度研究計畫,2016。
- 2.時佳麟、黃欽稜、盧雪卿、呂慶元、邵功賢等 ,「臺北智慧水表技術試煉規劃與辦理成果」, 自來水會刊第40卷第4期,2021。
- 3.時佳麟、黃欽稜、盧雪卿、呂慶元、連文成等 ,「臺北智慧水網示範區(木柵二期)建置與 分析應用」,自來水會刊第40卷第3期,2021。
- 4.翁弘翰、周依奇,「智慧水表營運測試採購案 (FOT) 成效初探:以北區營業分處為例,第 39屆自來水研究發表會論文,2022。

作者簡介

郭淑珍女士

現職:臺北自來水事業處業務科科長 專長:經營管理、自來水營運管理

林明美女士

現職:臺北自來水事業處業務科一級管理師

專長:業務管理、自來水營運管理

廖宜洋先生

現職:臺北自來水事業處業務科股長 專長:業務管理、自來水營運管理

林佳宜女士

現職:臺北自來水事業處業務科二級管理師

專長:數值分析、智慧水表

翁弘翰先生

現職:臺北自來水事業處業務科四級管理師

專長:機械工程、智慧水表

侯宛儂女士

現職:臺北自來水事業處業務科

專長:數值分析、智慧水表

李敏年先生

現職:臺北自來水事業處業務科

專長:資訊管理、系統開發

小區用戶用水型態分析與合理水壓管理 - 以澎湖馬公系統為例

文/蕭欣宜、吳俊毅、陳依玫、林孟珠、謝東穎

摘要

澎湖地區約7成水源依賴高成本的海淡 水,為減少對耗能海淡水的依賴,台水公司 積極更換老舊管線、加強檢漏,並合理調整 水壓以穩定供水。本研究以馬北中區與馬南 中區為範圍,利用智慧水表分析影響用水波 動的因素, 並針對大用水戶進行設備調查及 用水紀錄分析。此外,透過自動讀表設備每 日回傳數據,觀察用水型態及小區水壓變 化,提出合理的用水模式與水壓管理建議。 案例分析如澎湖花火節期間非智慧小區的 供水缺口問題,提供管理單位改善方向,進 一步降低漏失水量及供水虧損,確保供水穩 定與效率。

關鍵字:用水管理、智慧水表、合理水壓、以需定供

一、計畫概述

本研究動機緣於澎湖地區有7成水源來 自海淡水極高供水成本(每度供水成本高達 60元),加上澎湖縣政府近年大力推展旅遊 觀光,以民國 112 年為例,旺季(4~9 月)觀光 人次月均數約 16.7 萬人,淡季(10~3 月)約 4.5 萬人,淡旺季觀光人次差異大,致用水需求 落差大, 進而影響供水調配, 同時大幅提升 操作成本。

本研究計畫案旨在建立澎湖地區合理

水壓操作模式,藉由現行供水系統「馬公系 統」小區管網所建構自來水「智慧水網」及 裝設用戶「自動讀表」,從水源及管線逐步 擴展至用戶端,形成整體性管網供需監測及 用水管理。

研究範圍以馬公系統之馬北中區與馬 南中區為主(詳圖 1),因前述兩個中區佔馬公 系統約8成之用水量(馬南中區51.21%、馬 北中區 27.76%, 詳表 1)。研究內容第一部分 係探討影響馬北與馬南中區之用水量因 素,除探討觀光人次影響程度外,亦將氣候 因子(包含溫度、濕度、雨量、降水日數與日 照時數)納入分析。第二部分針對月用水量 200 度以上之大用水戶(計 166 戶)進行用水型 態調查,採自行設計問卷並搭配電話與實地 訪查方式取得用戶之用水設備資料。第三部 分擇月用水量 1.000 度以上智慧水表用戶(計 20 戶)之每小時用水量分析,藉由密集記錄 用水數據,分析用水趨勢。第四部份,透過 智慧小區具代表性之用戶用水型態,據此推 估用水變化與調整供水,達成「以需定供」 的供水管理方式。第五部分,以113年5月 澎湖地區因花火節開幕,吸引大量遊客湧入 造成非智慧小區(新西衛小區)供水缺口為例 探討,另與智慧小區(文澳小區)為比較分析。





馬公系統中區分布圖

表 1 馬公系統各中區 112 年日用水量統計

中區名稱	小區數	日用水量(立方公尺)	日用水量佔比(%)
馬南中區	12	10,069	51.21
馬北中區	10	5,459	27.76
湖西中區	8	1,932	9.83
澎南中區	7	1,598	8.13
成功中區	6	606	3.07
合計	43	19,664	100

結合小區之用戶用水型態分析,及水壓 水量變化,據以達成以下研究目的:

- 1.掌握觀光旺季之關鍵用水小區,分析關鍵 小區之大用水戶用水型熊,提出合理用水 模式與建議。
- 2.探討澎湖地區馬公系統自來水供需關係, 提出合理水壓操作管理,提供供水調配決 策支援,輔助降低漏水水量與供水虧損。
- 3.協助澎湖地區管理單位維持供水穩定,減 輕人力負擔,提升作業效率。

二、資料分析結果

(一)外部因子與用水量分析

資料收集時間自 109 年 7 月至 112 年 12 月(共計44個月),由表2統計檢定分析發現 「溫度」與「觀光人次」對於馬北與馬南等 兩個中區用水量有顯著性影響(詳表 2, p 值 =0.002 與 0.000),相關係數 r=0.712 與 0.834 具有高度相關性(詳表 2),表示溫度越高或觀 光人次越多,用水量增加越多。

表2 外部因子與馬北馬南中區總用水量檢定分 析表

		溫度	濕度	雨量	降水日數	日照 時數	觀光 人次
T		3.272	-1.658	0.055	0.898	-1.087	6.543
Be to	t LL	0.002	0.106	0.957	0.375	0.284	0.000
顯著		(p<0.05	(p>0.05	(p>0.05	(p>0.05	(p>0.05	p<0.05
(p /	值)	顯著)	不顯著)	不顯著)	不顯著)	不顯著)	顯著)
信賴	下限	1539.865	-3595.855	-107.231	-1697.825	-230.239	0.239
即即	上限	6572.936	362.288	113.164	4391.473	69.620	0.454
共 ^場 V		3.874	1.918	3.216	3.443	3.539	1.608
相關 (r		0.712**	0.088	0.308	0.273	0.563**	0.834**

自變數:溫度、濕度、雨量、降雨日數、日照時數、觀光人次; 依變數:售水量

馬北與馬南中區共有22個小區,考量 新西文小區遲至110年5月方由西文小區切 割區分,為維持資料時間點之一致性,將新 西文小區併入西文小區為計算,爰以 21 個 小區為分析。

表 3 係以「溫度」與「觀光人次」對於 各小區用水量之相關係數分析,有 14 個小 區用水量與「溫度」及「觀光人次」等兩個 因子呈現中度或高度相關;兩個小區(文光與 民生等小區)用水量與「觀光人次」呈現中度 相關,但不受「溫度」影響;兩個小區(案山 與三多等小區)用水量與「溫度」呈現中度相 關,但不受「觀光人次」影響;三個小區(三 總、光華石泉與北辰等小區)用水量,不受「溫 度」及「觀光人次」影響。



表 3 外部因子(溫度、觀光人次)與 21 個小區相 關係數表

小	相關係數		
區別	温度	觀光人次	說明
啟明	0.627**	0. 926*	啟明小區主要大用水戶為飯店(月用水
小區			量 2,390 度),民宿有 10 戶,用水量易
			受温度與觀光人次影響。
民族	0.628**	0.873**	民族小區之飯店月用水量 1,486 度,民
小區			宿有 13 戶,用水量易受溫度與觀光人
新西衛小	0. 717**	0. 836**	次影響。 新西衛小區之民宿數量高達 211 戶,用
州四相小	0. 111**	0.000**	水量易受温度與觀光人次影響。
新生	0. 675**	0. 830**	新生小區主要大用水戶為飯店(月用水
小區	0.010	0.000	量1.1 萬度),民宿有14户,用水量易
, _			受温度與觀光人次影響。
文澳	0. 625**	0. 788**	文澳小區主要大用水戶為飯店(月用水
小區			量1.2萬度),民宿有33戶,用水量易
			受温度與觀光人次影響。
菜寮	0.655**	0. 786**	菜寮小區之民宿數量有 37 戶,用水量
小區			易受温度與觀光人次影響。
西文	0.606**	0. 685**	西文小區主要大用水戶為餐飲業者(干
小區			貝醬、黑糖糕),月用水量1,015度,民
			宿有 21 戶,用水量易受溫度與觀光人
			次影響 。
安宅	0.626**	0.685**	安宅小區無大用水戶,民宿有 10 戶,
小區			用水量易受溫度與觀光人次影響。
東衛	0.620**	0. 684**	東衛小區之民宿數量高達 52 戶,用水
小區			量易受温度與觀光人次影響。
五福	0. 750**	0. 534**	五福小區之民宿數量有 23 戶,用水量
小區	0.05044	0 515th	易受温度與觀光人次影響。
光榮	0. 670**	0.517**	光榮小區之民宿數量高達 40 戶,用水
小區	0.663**	0.500**	量易受温度與觀光人次影響。
城北 小區	0.003**	0. 000**	城北小區之民宿數量有 31 戶,用水量 易受溫度與觀光人次影響。
朝陽	0. 578**	0. 468**	朝陽小區之民宿數量 13 戶,用水量易
小區	0.010**	0.400**	受温度與觀光人次影響。
重光	0. 720**	0. 464**	重光小區無大用水戶,民宿有6戶,用
小區	0.120	0.101	水量易受温度與觀光人次影響。
文光	0. 181	0. 438**	文光小區除有飯店 1 戶外,民宿有 15
小區			户,用水量受觀光人次影響。
			小區內尚有政府機關、學校與勤務機
			構,用水量穩定,不易受外部因子影響。
			爰此,文光小區用水量易受觀光人次影
			響,不易受溫度影響。
民生	0. 378	0.669**	民生小區之飯店月用水量 1,922 度,民
小區			宿有9戶,用水量受觀光人次影響。
			小區內有醫院,月用水量穩定約1,614
			度,不易受外部因子影響。
			爰此,民生小區用水量會受觀光人次影 第二十月至四京以鄉
da I	0.40544	0.966	響,不易受溫度影響。
案山	0. 435**	0. 366	案山小區主要大用水戶為製造業,分別 為保留輔制法由、治本人工中B DO 中
小區			為保麗龍製造廠、海產加工廠及 RO 水 製造廠(日用水暑 4 001 座),用水暑彩
			製造廠(月用水量4,001度),用水量受 溫度影響,不易受觀光人次影響。
三多	0.397**	0. 376	三多小區主要大用水戶為高中與大學,
小區	0.001	0.010	月用水量 5,714 度,用水量呈現季節性
-			變化,受溫度影響,不易受觀光人次影
			響。
	-	-	

	相關	係虧	日日	水量 200 度	以上用戶		
小區別	温度	親光 人次	户數	經營 類別	用水量 合計(度) (佔比)	小區總 用水量 (度)	說明
三總小區	0. 373	0. 276	4	勤務機構 *1、 醫院*1、 學校*1、 加水站*1	32, 129 (76. 05%)	42, 248	三總小區主要用水 大戶為勤務機構(月 用水量 2.5 萬度), 其次為醫院用水 (0.67 萬度), 前逐 用戶用水特溫度 次,不受器 完, 大次為響。
光石小	0. 353	0. 383	10	政府*3、 學校*3、 勤務機構 *2、 娛樂*1、 加水站 *1、 洗衣*1	6, 077 (13. 89%)	43, 765	光華石泉小區主要 大用水戶為勤務機 構、學校與政府機 關,月用水量 5,361度,用水量 穩定,不受溫度與 觀光人次影響。
北辰小區	0.001	0.066	9	飯店*1、 政府*1、 餐飲*4、 加水站 *2、 零售*1	3, 320 (11, 07%)	29. 991	北辰小區主要大用 水戶為菜市場,月 用水量 1,178 度, 用水量穩定,不受 溫度與觀光人次影響。

自變數:溫度、觀光人次,依變數:售水量** 本研究案採相關性 在 0.01 層級上顯著(雙尾)

此外,進一步探討「每日」溫度與「每 日」觀光人次,對於「每日」用水量之影響, 擇小區全部安裝自動讀表之「民族小區」為 對象,數據分析期間為 112 年 1 月至 113 年 8月。由表 4 統計檢定分析,顯示民族小區 「每日」溫度與「每日」觀光人次對於「每 日」用水量有顯著影響(詳表 4,p 值=0.000 與 0.000);「每日」溫度與「每日」用水量之 相關係數 r=0.660 為中度相關、「每日」觀光 人次與「每日」用水量之相關係數 r=0.750 為高度相關,亦即每日溫度越高或觀光人次 越多,用水量越多。

觀光淡季期間(112年1~4月、10~12月, 113 年 1~4 月),「每日」溫度與「每日」觀 光人次對於「每日」用水量有顯著性影響(詳 表 4, p 值=0.000 與 0.000);「每日」溫度與 「每日」用水量之相關係數 r=0.465 為中度 相關、「每日」觀光人次與「每日」用水量 之相關係數 r=0.719 為高度相關,亦即每日 溫度越高或觀光人次越多,用水量越多。



觀光旺季期間(112年 5~9月,113年 5~8 月),「每日」溫度對於「每日」用水量不具 顯著性影響(詳表 4 · p 值=0.326) · 但「每日」 觀光人次對於「每日」用水量有顯著性影響 (詳表 4, p 值=0.000), 相關係數 r=0.407 為中 度相關,亦即每日觀光人次越多,用水量越 多。

觀光旺季期間,民族小區用水量不隨溫 度影響,但隨觀光人次影響,原因係 5~9 月 每日平均溫度雖高達 30 度,但澎湖縣政府 每年於此期間舉辦年度重大活動(國際海上 花火節、泳渡澎湖灣、全國帆船錦標賽、追 風音樂節及自行車活動等),吸引大量遊客赴 澎湖參與活動與觀光,故溫度雖高溫炎熱, 但不影響旅客赴澎湖之意願,致溫度變化與 用水量無顯著相關。

表 4 外部因子(溫度、觀光人次)與「民族小區」 用水量之檢定統計表

		112年1~ 113年1~		10~12 月 113 年 1~4	112 年 1~4 月、 10~12 月, 113 年 1~4 月 (觀光淡季)			
		温度	觀光 人次	温度	觀光 人次	温度	觀光 人次	
顯著性(pf	值)	0.000 (<0.05 顯著)	0.000 (<0.05 顯著)	0.000 (<0.05 顕著)	0.000 (<0.05 顯著)	0.326 (>0.05 不顕著)	0.000 (<0.05, 顯 著)	
相關係數	間 数(r)	0.660**	0.750**	0.465**	0.719**	-0.055	0.407**	

(二)大用戶用水型態分析

針對月用水量 200 度以上之大用水戶 (計 166 戶,其中 124 戶有裝設智慧水表,42 戶為機械表))進行用水型熊調查,採自行設 計問卷並搭配電話與實地訪查方式取得用 戶之用水設備資料,調查項目包含水表口 徑、用水人口、總樓板面積、蓄水池容量、 每月用水量,及經營類別等項目(詳表 5)。

用水種別中,以勤務機關用水量佔比最高 (24.43%),依據為醫療院所(19.35%)、飯店旅 館(11.48%)、娛樂服務(8.28%),及生產製造 (5.92%) °

表 5 166 户用水資料統計表

基本資料	說明	户數(佔比%)
水表口徑	20mm 與 40mm 數量比例 最高	20mm: 40 \(\nu(26.51\%)\) 40mm: 44 \(\nu(26.51\%)\)
用水人口級距	10 人以下最多	74 <i>戶</i> (44.58%)
總樓板面積級距	<500 平方公尺最多	67 ¢ (40.36%)
蓄水池容量	1~10 立方公尺最多	105 户(63.25%) 166 户合計量計 17,382 立方 公尺
每月用水量級距	200~500 立方公尺最多	125 ¢ (75.30%)
經營類別	餐飲食品最多	44 <i>戶</i> (26.51%)
用水量佔比	勤務機構	12 卢(24.43%)

此外,針對大用水戶之用水人口數(係指 員工數)與自來水用水量進行顯著性分析,表 6 顯示 p 值為 0.001(<0.05)達顯著,表示「用 水人口數」與「自來水用水量」有顯著性相 關,即用水人口數(員工數)增減會影響自來 水用水量變化。

表 6 員工數與自來水取水量之統計分析表

	T.	顯著性	信賴區間		
	Т	(p 值)	下限	上限	
用水	3, 361	0.001*	6, 321	24, 339	
人口數	3. 361	(<0.05 顯著)	0. 521	24. 559	

自變數:用水人口數;依變數:自來水用水量

表7顯示總樓板面積p值為0.000(<0.05) 達顯著,表示「總樓板面積」與「112 年自 來水用水量」有顯著影響,即總樓板面積增 減會影響自來水取水量變化;經營類別 p 值 為 0.322(>0.05)未達顯著,表示「經營類別」 與「112年自來水取水量」未達顯著影響, 即不同之經營類別,不影響自來水取水量。

表 7 總樓板面積、經營類別與自來水用水量之 統計分析表

	F	顯著性(p值)			
總樓板面積	6. 349	0.000* (<0.05 顯著)			
經營類別	1.136	0.322(>0.05 不顯著)			

自變數:總樓板面積、經營類別;依變數:112年自來水取水量

另,為了解月用水量 1,000 度以上用水 型態,藉由智慧水表密集記錄用水數據,分 析用水趨勢,發現水表故障(詳圖 2),即時換 表以利正確計量;水表逆流異常(詳圖3),即 時香明改善,以維護民眾飲用水水質安全; 大用水戶進水量無規律(詳圖 4),易影響鄰近 水壓,大量進水時恐造成本公司供給鄰近用 戶之水壓下降,亦影響用戶用水穩定。

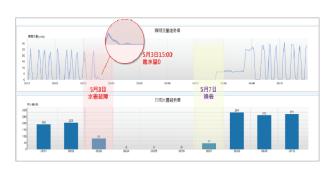


圖 2 水表故障之流量趨勢圖



圖 3 B 水表逆轉之流量趨勢圖



進水量不固定之流量趨勢圖

(三)113年5月花火節開幕發生供水缺口

113年4月30日(花火節開幕前)夜間壓 力尚有 0.2kg(詳圖 5(a)),無用戶反映供水問 題;5月2日花火節開幕,吸引大量遊客湧 入,造成非智慧小區(新西衛小區)發生供水 缺口(詳圖 5(b)),多處民眾與飯店業者反應 無水,澎湖管理單位無法立即判斷係管線破 管漏水,或係遊客大量用水致供水量不足, 當下管理單位以緊急調派水車補給水源因 應。

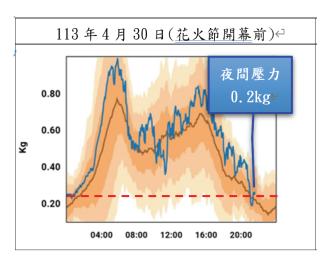


圖 5(a) 新西衛小區 113 年 4 月 30 日每時壓力 趨勢圖

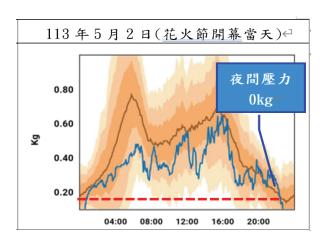


圖 5(b) 新西衛小區 113 年 5 月 2 日每時壓力趨 勢圖



以113年5月2日供水缺口事件,新西 衛小區因無全面裝設自動讀表,管理單位無 法於第一時間確認供水缺口問題,這是目前 非智慧小區遇到供水問題時遭遇之挑戰。因 此,本研究案亦比較裝設自動讀表小區(文澳 小區)於4月30(花火節開幕前)與5月2日(花 火節開幕當天)每時供水量與大用水戶用水 趨勢,及每時水壓與大用水戶用水趨勢比 較。

113 年 4 月 30 日(花火節開幕前,詳圖 6(a))與 5 月 2 日(花火節開幕當天,詳圖 6(b)),大用戶大量進水時,小區供水量亦高, 兩者變化趨勢有一致性。

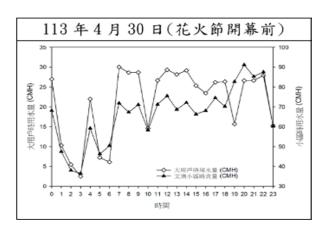
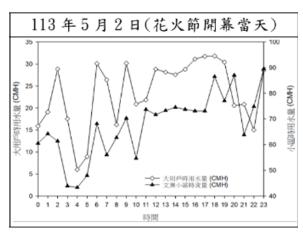


圖 6(a) 文澳小區 113 年 4 月 30 日每時供水量 與大用水戶用水量趨勢圖



文澳小區 113 年 5 月 2 日每時供水量與 圖 6(b) 大用水戶用水量趨勢圖

113 年 4 月 30 日(花火節開幕前,詳圖 7(a))與 5 月 2 日(花火節開幕當天,詳圖 7(b)) 大用戶大量進水時,小區管網之水壓驟降。

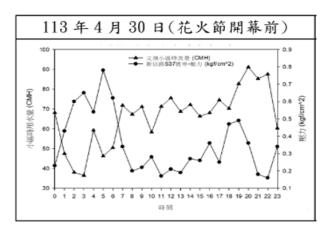


圖 7(a) 文澳小區 113 年 4 月 30 日每時壓力與 大用水戶用水量趨勢圖

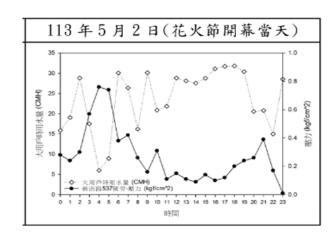


圖 7(b) 文澳小區 113 年 5 月 2 日每時壓力與大 用水戶用水量趨勢圖

由表 8 顯示 4 月 30 日(花火節開幕前)文 澳小區供水壓力 0.36 kg/cm²; 5 月 2 日(花火 節開幕當天)水壓下降至 0.27 kg/cm²,雖較 4 月30日水壓僅下降0.09 kg/cm²,但此時已嚴 重造成多戶無水,代表文澳小區供水穩定性 仍待提升。

由圖 6、圖 7 與表 8 顯示文澳小區之大 用水戶(月用水量 200 度以上)用水量於文澳

小區供水量與售水量相關係數分別達 0.855 與 0.834,代表用水大戶對於文澳小區供水量 與售水量具有高度影響,且分析 4/30、5/2、 5/6 三日大用水戶進水與文澳小區水壓變化 後,大用戶用水量與小區水壓相關係數介於 0.686~0.822 之間,代表大用水戶用水對水壓 有明顯影響,換句話說,掌握文澳小區大用 戶用水情形,即可掌握該小區供水狀況。因 此,當該小區內安裝自動讀表用戶之用水量 足以代表該小區之整體供水量時,可據此推 估用水量變化並調整供水量,以利達成由 「以需定供」的供水管理模式。

表 8 文澳小區 113 年 4 月 30 日與 5 月 2 日相 關數值比較表

	花火節開幕前		花火節開幕當日				
	(113/4/30)		(113/5/2)				
文澳			相較				
小區	數值	數值	「事件發生前」				
		- 数但	差異數	増減 幅度			
大用戶平均用水量 (CMH)	21. 21	23. 54	2. 33	11.0%			
小區平均供水量 (CMH)	66. 17	67. 72	1.55	2. 3%			
小區平均售水量 (CMH)	47. 69	53. 65	5. 96	12.5%			
小區售水率(%)	72.1	74.6	2.	5%			
小區平均水壓 (kgf/cm)	0.36	0. 27	-0.09	-25%			

三、結論與建議

(一)經統計分析顯示「溫度」與「觀光人次」 會影響用水量波動,建議可利用「溫 度」、「觀光人次」與「用水量」之相關 性數據,進一步開發用水分析預測模 型,並逐期比對每週或每月之實際數據 與預測數據之落差,即時修正與調整, 以使模型能符合實際情形,協助澎湖管 理單位及早掌握未來一週或一個月之用

- 水量與趨勢,及早調整供水量因應,以 滿足用戶端用水足量穩定。
- (二)大用水戶用水量極大,短期間大量進 水,易影響鄰近用戶取水與小區內水壓 偏低,建議針對非於離峰期間進水之大 用水戶,逐一溝通輔導,於離峰期間採 定量且穩定的模式進水,較不易發生搶 水與無水情形,電費亦較低廉,對於大 用水戶日常營運具有正面助益。
- (三)智慧水表可密集記錄用水數據,提供即 時用水量,以協助調配供水,目前智慧 水表僅安裝 6 個小區,統計至 113 年 8 月底佔馬公系統售水量比例 42.86%,尚 未超過 50%,對於即時供配水與降漏效 益仍有限; 爰此, 建議逐年增加智慧水 表小區安裝數,考量馬南中區佔馬公系 統售水量比例 51.21%,可先行針對馬南 中區尚未安裝智慧水表之 8 個小區安 裝,即時售水量可由 42.86%提高至 57.74%,後續再針對馬北中區尚未安裝智 慧水表之 8 個小區安裝,可再提高即時 售水量至 78.47%。
- (四)藉由智慧水表小區之即時售水率變化, 進一步分析夜間最小流或有效未計費水 量,查明漏水情形,即時修漏以降低漏 失水量,及供水虧損。另一方面,因澎 湖地區之水源有七成來自海淡水,供水 成本高,每售出一度水則虧損五度水, 藉由用戶端安裝智慧水表,針對用水異 常增加、內線漏水用戶,即時通知查修, 除可減少用戶水費支出外,亦可協助降 低澎湖地區之高供水成本支出。

- (五)智慧小區即時提供數據以利即時分析, 因此智慧小區原以關閉邊界閥方式作為 小區劃分,建議可改成以流量計做為區 域分界,減少小區遭遇突發狀況(例如: 破管或用水量激增造成供水缺口),需開 啟邊界閥,破壞小區封閉性,達到監測 管網供水狀況,及強化小區供水穩定性。
- (六)水力分析係透過小區流量計之數據變化 進行設定,實際上現場設備因故障或傳 訊問題,發生數據未完整或無數據情 形,建議後續可研議如何強化設備穩定 度,及提出有效的統計分析方法,以降 低誤差;此外,以即時水力分析,可協 助判斷管網水壓變化係因破管漏水或用 戶瞬間大量進水所致,規劃合理的水壓 管理與供水情境分析,以強化供水穩定。

参考文獻

- 1.林志憲(2017)。利用大數據以人工智慧之水量 需求預測。中華民國自來水協會會刊,36(1), 34-47 °
- 2.隋忠寰、蔡博淵、林志憲(2015)。國際水壓管 理發展趨勢及應用探討。中華民國自來水協會 會刊,34(1),30-37。
- 3.王銘榑、楊境維、黃欽稜(2013)。供水管網水 壓精緻操作與管理-以臺北地區為例。中華民 國自來水協會會刊,32(1),43-56。
- 4.財團法人臺灣產業服務基金會(2013)。商業大 用水戶用水調查與合理用水量估算技術之研 究計畫。台北市:經濟部水利署。
- 5.張錫堅(2009)。利用水力分析模擬水壓與現況 水壓差異診斷供水管網異常區域。中華民國自 來水協會會刊,28(1),58-64。
- 6.許盈松、郭雅熅、陳昶憲、葉昭憲、王國樑(

- 2008)。台灣地區生活用水量推估研究。農業 工程學報,54(4),33-43。
- 7.駱佩婷(2008)。台中市生活用水量之模式建構 與模擬。逢甲大學。台中市
- 8.李紅豔、崔建國、張星全(2004)。城市用水量 預測模型的優選研究。中國給水排水,20(2),3.

作者簡介

林孟珠女士

現職:台灣自來水公司營業處處長 專長:經營管理、自來水營運管理

謝東穎先生

現職:台灣自來水公司供水處副處長 專長:淨水處理、自來水工程規劃

蕭欣宜女士

現職:台灣自來水公司營業處管理師

專長: 自動讀表、抄表稽複香

吳俊毅先生

現職:台灣自來水公司供水處工程員

專長:監控系統維護建置、供水調配與水壓管理

陳依玫女士

現職:台灣自來水公司營業處管理師

專長:為民服務、節水肓導

林郡習先生

現職:台灣自來水公司第七區澎湖營運所業務股長

專長:抄表稽複查、表位不當處理

陳宥銓先生

現職:台灣自來水公司資訊處工程員 專長:統計分析、資訊系統管理維護

周皓天先生

現職:台灣自來水公司資訊處工程師

專長:資訊系統分析設計、資訊系統管理維護

● 自來水會刊第 44 卷第 1 期(173)

鄭景行先生

現職:台灣自來水公司第七區澎湖營運所工務股長

專長:供水管線維護管理、小區用水分析

黄小蓉女士

現職:台灣自來水公司第七區澎湖營運所營運士 專長:自動讀表系統業務、用戶申辦業務服務

辛蕙玲女士

現職:台灣自來水公司第七區澎湖營運所營運士

專長:抄表上下傳、水表管理



淺談鋼纖維混凝土應用於自來水工程

文/張民岦、熊彬成、鄭宇哲、鄭格浩、王傳政

摘要

鋼纖維混凝土為新世代之工程耐震材 料。研究顯示,鋼纖維能提高混凝土材料之 韌性及剪力抗性,加大剪力(箍)筋間距,有 利於混凝土澆置時之充分搗實。且鋼纖維混 凝土較一般混凝土有較佳之性能與使用壽 命,同時可減少鋼材和混凝土之使用量,降 低碳排放。

本研究除介紹鋼纖維混凝土之特性及 工程案例外,考量台灣位於地震發生頻繁之 地震帶,並探討鋼纖維混凝土可應用於自來 水工程之工項,除增加耐震性外,亦可節省 工程經費,並達到節能減碳之功效。

關鍵字:鋼纖維混凝土、自來水工程

一、前言

近年來國內學術界與業界相繼投入鋼 纖維混凝土相關研究與應用,依據廖文正等 人『研究顯示,其同時擁有自充填混凝土在 新拌時之自充填超高流動性,及受拉時呈現 應變硬化之力學性質,且甚至可以完全不需 配置横向鋼筋;沈家毓四表示,水泥混凝土 加入鋼纖維不僅彌補了抗拉強度及抗彎強 度差的缺陷。適量的加入鋼纖維其抗拉強度 提高 25%~50%, 抗彎強度提高至 40%~80% 甚至更高。而國外過去三十年來,更已陸 續,運用於建築工程及隧道工程,如使用於 經常承受苛刻負載條件之工業地坪,使用鋼 纖維可增加地板之抗衝擊能力及限制混凝

土收縮裂縫寬度;另外隧道工程中常使用之 潛盾工法,則逐步以鋼纖維混凝土環片取代 鋼筋混凝土環片,以增加產能、節省鋼筋, 提升施工效率並降低成本。

由於目前各國對全球暖化和溫室氣體 排放日益關注,且碳足跡分析越來越普及, 考量鋼筋製造過程會產生大量的二氧化 碳,而鋼纖維混凝土不僅可減少鋼筋使用 量,更提高耐用性;故鋼纖維混凝土倘可應 用於自來水工程,除可節省工程經費,亦不 失為配合政府推動多項能源政策-節能減碳 及永續發展之良策。

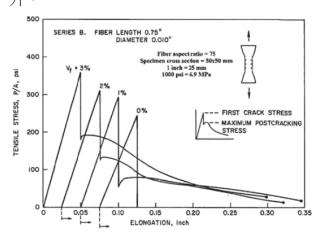
二、鋼纖維混凝土介紹

混凝土由於具有良好之抗壓、易塑、耐 火及便宜等特性,是目前世界上應用最多之 建築材料。但卻因其抗拉能力極差僅為其抗 壓十分之一,屬脆性材料;故為避免其結構 物開裂及提高使用性,往往設計時會加入鋼 筋或其他材料以增加其抗拉能力。然而,除 了常見之鋼筋外,近年來,亦發展出添加鋼 纖維之設計方式,且研究發現添加鋼纖維能 改變水泥性質,1960 年初 Romualdi 與 Mandel 成功使用鋼纖維大幅改善混凝土力 學性質,使鋼纖維混凝土開始廣泛應用於工 程。

(一) 鋼纖維混凝土之材料性質

鋼纖維混凝土(Steel Fiber Reinforced Concrete,以下簡稱 SFRC),為在混凝土內添

加鋼纖維以提供抗拉能力。這些纖維是不連 續的離散實體,並且隨機分布整個混凝土基 體,即是在普通混凝土中掺入少量低碳鋼或 不銹鋼的纖維後形成的一種比較均勻,且多 向增強的高性能混凝土,鋼纖維混凝土以其 優良的抗拉、抗彎、抗剪、阻裂、耐衝擊、 耐疲勞、高韌性(延展性)等性能, Naaman^[3] 在 1972 年時即進行添加未經表面處理的鋼 製短纖,整理出水泥複合鋼纖維不同含量下 的關係圖如圖 1,該實驗表示即使只添加 3% 的鋼纖維,仍然大幅改善過去水泥質材料的 脆性破壞型態,對於抗拉能力有很大的提 升。



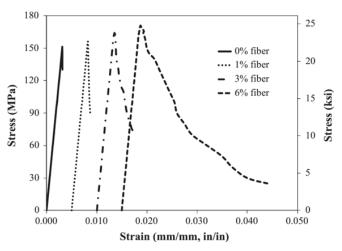
Naaman於1972年發表之鋼纖維混凝土拉 力-變形關係圖

SFRC 元件的結構設計是因纖維增強材 料所提供的後裂縫殘餘強度,關於 SFRC 的 拉伸行為,可以進行彎曲試驗以確定荷載-撓度關係,藉由此關係通過反算分析可以得 出應力裂縫寬度關係,對裂縫開口進行計 算。

1.SFRC 常見形狀及纖維效應,鋼纖維常見之 外型分類有以下幾種:單鈎端型、雙鈎端 型、三鉤端型、捲狀型、彎鉤型及波浪型 等。

鋼纖維長度範圍通常介於 5mm 到 60mm 區間內,通常而言,纖維長度越長時,其性 能會越佳。當纖維長寬比越高時,會使纖維 具有高拉拔阻力,但高長寬比也會使得纖維 產生成球效應(balling effect),導致抗彎強度 下降,一般而言,混凝土所添加之鋼纖維長 寬比約為20至100之間。保持高拉拔阻力的 同時還要降低長寬比可以採取鋼纖維兩端 呈現放大或彎鉤狀以及使纖維整體彎曲呈 現波浪狀來使鋼纖維表面粗糙。

Moncef L & Ahmed M^[4]研究發現,添加 鋼纖維可以降低混凝十之壓縮脆性,特別是 在高強度或超高強度混凝土中,當鋼纖維添 加到混凝土中時,混凝土的彈性模數會略有 下降,因纖維引入的微小空隙。而對於整體 壓縮反應會增加延展性,如圖2。



不同鋼纖維含量之應力-應變圖

2. SFRC 之拉伸行為

一般混凝土加入鋼筋等各種材料是為 了提高其延展性和拉伸性能,而添加鋼纖維 材料的拉伸反應可分為三個階段:

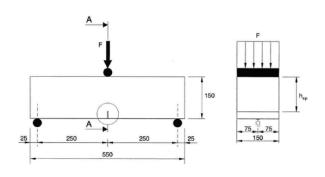
(1)彈性階段:彈性階段特徵為裂紋形成前的



反應。

- (2)微裂縫階段:該階段特徵為當超過混凝土 的拉伸強度及形成第一道微小裂痕時,在 裂缝處混凝土承受的荷重移轉到鋼纖維 材料上,與裂缝相交會的纖維透過裂缝橋 接機制抵抗額外的裂縫開口。
- (3)拉拔宏觀裂縫階段:此階段是鋼纖維增強 複合材料拉伸反應的最後階段,透過破壞 形式,可觀察到的反應有延性和脆性,前 者為拉拔控制,後者為斷裂控制。

而材料性能的標稱值,可依據歐洲規範 EN14651(Test method for metallic fibered concrete - Measuring the flexural tensile strength) 進行三點抗彎強度試驗,如圖 3。力(F)與裂 縫開口位移(CMOD)的關係,如圖4。



試驗裝置示意圖(EN14651)

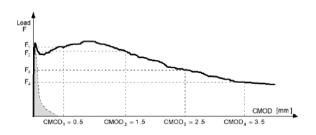
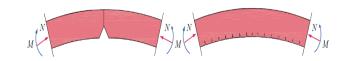


圖 4 試驗裝置與負載-裂縫曲線之示意圖

Xiuling & Jinxing 的研究發現一般鋼筋混 凝土受拉且到達抗拉強度後,其變形增量會 突然上升直到鋼筋完全被作用至斷裂,因此 一般鋼筋混凝土通常會形成一條寬度較寬 之主裂縫如圖 5 左邊。而鋼纖維混凝土到達 抗拉強度後,其變形量並不會瞬間增加而是 緩慢且持續增加,造成此現象是由於鋼纖維 被激活因此不斷的從混凝土中被拉出,且鋼 纖維平均分布於混凝土當中,會使鋼纖維變 形量緩慢增加並造成大量均匀分布之細微 裂縫,如圖5右邊,因此會比一般鋼筋混凝 土較晚出現貫穿整段結構之裂縫,漏水的風 險也會隨之降低,鋼纖維混凝土環片便可保 持隧道之水密性。



鋼筋與鋼纖維混凝土開裂方式 [5]

(二) 國內(外)相關設計、施工規範

1.國內規範

國內建築方面,建築物混凝土結構設計 規範⁶ 之相關規定,為第 26.4.2.1 節中,鋼 纖維混凝土規定用於抵抗剪力有特別的要 求,包括 26.4.1.6.1(a) 節規定之纖維要求、 第 26.4.2.2(i) 節規定之最低用量要求、第 26.12.7.1(a) 節規定之允收準則且纖維通常 規定纖維類型、纖維長度、長徑比和用量 (ACI 544.3R),「CNS 12892 纖維混凝土用鋼 纖維」內亦有規範纖維類型、纖維長度,而 規範也述及其使用鋼纖維提供剪力強度之 規定,並不適用於非結構性應用。

另目前國內隊道僅有鋼纖維噴凝十(工 程會施工規範第03375章)以及隧道襯砌環片 (工程員會施工規範第 02427 章)之規範。

依照鋼纖維噴凝土施工規範要求鋼纖 維須符合 CNS 12892 A2247 之規定,其型式



及尺度應適於噴凝土施工及能達到加強噴 凝十強度要求者,一般而言鋼纖維之抗拉強 度應大於 4,200kgf/cm²。配比設計及試驗應符 合粒料總重量與水泥重量比不得超過 5:1 且每立方公尺噴凝土之鋼纖維掺入量不得 少於 60kg。

2.國外規範

- (1) 美國混凝土學會(American Concrete Institute),目前已有針對鋼纖維混凝土 (SFRC)之設計及施工規範,其中 ACI 544.3R 內容包含鋼纖維混凝土材料、配比 設計、鋼筋配合、配料、拌合、澆築、飾 面、運送及養護等章節; 而 544.1R 則有鋼 纖維詳盡特性介紹,如物理特性、理論模 型、設計考慮及應用介紹等。另外 ACI-544.7R-16,亦有針對鋼纖維混凝土環 片設計及施工規範,此規範規定設計鋼纖 維混凝土環片時須採用極限狀態設計法 (LRFD)來進行設計。
- (2)國際隧道與地下空間協會(ITA),制定預鑄 纖維增強混凝土環片指南(ITAtech Guidance for Precast Fibre Reinforced Concrete Segments)來針對纖維增強混凝土 環片的規格和測試制定流程;該指南要求 鋼纖維混凝土環片須達到兩條件下才可 用纖維完全代替鋼筋,其一為正常使用極 限狀態(SLS)設計(裂縫開口位移 CMOD=0.5mm)的抗壓強度必須大於比例 極限處彎曲阻力(第一次裂紋)的 0.4 倍;其 二為最大極限狀態(ULS)設計(裂縫開口位 移 CMOD=2.5mm)的抗壓強度須大於用於 SLS 設計的應變水平的彎曲阻力的 0.5

- 倍。在設計時必須考慮環片的彎曲及壓縮 能力、確認徑向接頭、各段環片承受衝擊 力之能力、運輸及裝載之狀況。
- (3)歐洲規範 EN 14651,抗彎強度試驗依據歐 洲規範 EN14651 為現今較多鋼纖維混凝土 環片設計依據,像是 SFRC 結構載重與裂 縫開口寬度或位移(Crack Mouth Opening Displacement; 簡稱 CMOD)關係曲線可得 特定位移的殘餘抗彎強度,例如紐西蘭霍 布森灣下水道隧道(Hobsons Bay Sewer Tunnel)以及新加坡捷運中心區線(C933)都 是依據 EN 14651 作為標準。
- (4)國際結構混凝土聯合委員會(Fib Model Code 2010), 依據 Fib Model Code 2010 規 定,通過 SFRC 結構的抗彎強度實驗等物 理力學性能試驗,來評估 SFRC 結構承載 能力。

三、鋼纖維混凝土工程案例介紹

(一)應用於鋼纖維噴凝土工程

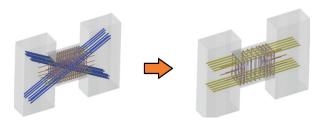
國內隊道工程技術逐漸改進, 噴凝土技 術是其關鍵技術,目前在隧道工程採新奧工 法噴漿作業多數已改採鋼纖維噴凝土替代 傳統鋼線網噴凝土。除鋼纖維噴凝土比鋼線 網噴凝土具有較高抗張強度、撓曲強度及延 展性,抵擋岩盤荷重產生之張應力外,施工 佈網作業時間減少、提高功率,降低施工人 員佈網過程中被落石擊中之風險。台灣世曦 陳明宏等人四,以蘇花改-谷風隧道為範例, 探討隧道鋼纖維噴凝十材料管理及施工規 範、材料試驗項目與標準、材料配比、預拌 廠試拌確認及工地試噴、預拌廠料源砂石及



鋼纖維混入率管理項目、工地試體噴鑽與驗 收以及隧道噴凝土中有關材料規定異同 處,結論對於噴凝土施作及配比有詳盡之研 究,可供工程界參考。

(二)應用於建築工程

國內鋼纖維混凝土雖然營建署已於建 築物混凝土結構設計規範中有所規定,但主 要注重於對抗剪力的部分,國內的應用較 少,國外則有美國 Cary Kopczynski & Company 建築公司已大量應用於實例中,其 最新之 SEATTLE HOUSE(西雅圖之家)為由 兩座 45 層樓組成之建築,至 113(2024)年 3 月 16 日為止已建置至 13 樓,橫向系統由採 用高強度鋼纖維混凝土連梁(SFRC)的剪力 牆組成,其在剪力牆連接梁中使用鋼纖維混 凝土 (SFRC) 可簡化施工,且不會影響抗震 性能, 並使其鋼筋量大幅減少。



傳統連樑與 SFRC 連樑

(三)應用於隧道工程之環片[8]

1.英國 Lee Tunnel

Lee Tunnel 是一條位於倫敦的溢流下水 道隧道,用於儲存和輸送與雨水混合的汙 水,全長 6.9km,深度達 75m 以上,是倫敦 最深的潛盾隧道。設計團隊考量若採鋼筋混 凝土環片,水壓會使環片發生潛變,且當水 注滿隧道時,水壓會讓環片產生箍拉力最終 使環片開裂,這會導致汗水腐蝕鋼筋,使隊

道的耐久性大幅降低。因 SFRC 的抗拉能 力、高抗腐蝕性,遂此案例採用鋼纖維混凝 土環片,不只可避免環片開裂增加其耐久性 外,也減少了17,000噸鋼筋量,降低施工難 度和工程花費,此外也減少6週工期)。

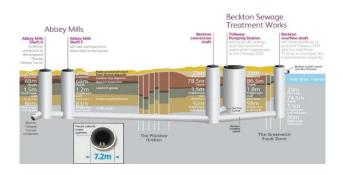


圖7 Lee Tunnel 隧道設計示意圖[8]

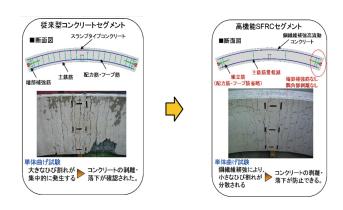
2. 巴黎地鐵 16 號線

巴黎地鐵 16 號線目前正在興建中,全 長 27.5km,預計於 2025 年營運。為了降低 其碳排量及提升耐久性,潛盾隧道採用鋼纖 維混凝土環片,相較於混凝土環片,鋼纖維 混凝土環片具有較佳的延展性、可減少混凝 土剝落的風險、三維方向的補強效果、避免 鋼筋腐蝕問題、成本較低、裂縫寬度較小等 優勢,由現場檢測的結果,環片裂紋寬度在 1mm 内,絕大部分在 0.2mm 内,每十公里約 可減少 11,000 噸的 CO2排放量,目前巴黎政 府已同意將鋼纖維混凝土環片擴大使用至 其它地鐵路線。

3.日本首都高速中央環状新宿線^[9]

日本首都高速中央環路新宿線中落合 盾構(外環),其為在市內環線外建造一條 新的環線以分散車輛,將從豐島區千早延伸 至新宿區上落合,沿山手大道下面進行挖 掘,隧道全長 2018m,開挖外徑 12.02m,是 當時施工時全世界最大的採用泥水壓力盾

構法的隧道,並首先採用了耐火鋼纖維高流 動混凝土 (SFRC) 環片;圖8中左側為傳統 的鋼筋配置圖,使用 SFRC 後配筋可以大幅 减少如右側所示,主筋亦可減少,甚至相同 的彎曲試驗後,鋼纖維混凝土環片只有裂痕 但是沒有任何混凝土剝落,因其邊緣及角落 仍有鋼纖維可提供固定之力量,展示非常優 良之性質。



鋼筋使用減少說明圖[9] 圖 8

表 1 SFRC 應用於隧道工程案例

Tunnel name	Year	Country	Function	Di ft (m)	H In (m)	Di/h	Steel Fiber Countent, lb/yd³ (kg/m³)	ReinForci ng bars used
Brenner Base	2032	Austria	Railway	18.4	8	28.0	NA	Yes
Tunnel Lee Tunnel	建設中 2016	England	Wastewater	(5.6)	(0.2)	20.6	(無資料)	No
Sewer Blue Plains	2015	11.0		(7.2)	(0.35)	10.7	(30-45)	
Tunnel	2015	U.S.	Wastewater	(7.0)	(0.35)	19.7	(36)	Yes
San Francisco Central Subway	2014	U.S	Subway	17.8 (5.4)	11 (0.28)	19.4	45 (27)	No
Grosvenor Coal Mine	2014	Australia	Mining	23 (7.0)	14 (0.35)	19.7	60(36)	No
STEP Abu Dhabi Lot T-	2014	UAE	Wastewater	20.7 (6.3)	11 (0.28)	22.5	67(40)	Yes
Wehrhahn	2014	Germany	Subway	27.2 (8.3)	12 (0.3)	27.7	67(40)	No
El Alto	2013	Panama	Water Supply	19 (5.8)	14 (0.35)	16.6	67(40)	No
Pando	2012	Panama	Water Supply	9.8 (3.0)	10 (0.25)	12.0	67(40)	No
Monte Lirio	2012	Panama	Water Supply	10.5	10 (0.25)	12.8	67(40)	No



4.其他國外鋼纖維隊道案例

李瀚全[10],整理臚列國外相當多之案例 如表 1,可發現鐵路、地鐵隧道、汗水及自 來水管線洞道,均有使用鋼纖維混凝土,目 部分工程甚至並無使用主要鋼筋。

四、使用鋼纖維混凝土之效益

由上一節案例不難發現,國外引入鋼纖 維混凝土環片技術在隧道工程之潛盾工 法,提升施工效率並降低成本具備良好經濟 效益,以下將從經濟效益、碳稅政策及耐用 性等幾個方面探討使用鋼纖維混凝土之效 益。

(一)經濟效益

鋼纖維混凝土環片在國外隧道工程中 受到青睞,主要因其經濟上之優勢。相比於 傳統鋼筋混凝土環片,鋼纖維混凝土環片能 減少鋼筋使用量,縮短人力綁紮鋼筋時間, 以及灌漿完成後之震動搗實時間。由於鋼纖 維可以在混凝土拌合時直接投入拌合槽中 混合,使得環片製造過程更簡單,有助於工 廠提升施工效率並縮短工期。

(二)稅政策影響

隨著全球對碳排放之重視,許多國家如 歐盟、日本、韓國和加拿大等已實施碳稅或 類似政策;雖然台灣目前尚未正式實施碳 稅,但已規劃設計碳費和碳排放交易機制。 為配合政府政策推動,相關工務單位開始尋 求低碳建材,而鋼纖維混凝土環片正因能減 少鋼筋使用量而成理想選擇。雖然不同製程 在碳排放量上有所差異,但鋼纖維之生產過 程通常比傳統鋼筋碳排放量低,將有助於工 務單位在碳稅政策下減少支出,提升市場競 爭力。

(三)工程穩定性與耐用性

中國外期刊、論文發現,鋼纖維混凝土 環片具備良好之抗壓性與抗裂性能,能對潛 盾施工過程中地層變化與震動引起之結構 應力,發揮降低裂縫發生之風險,而增加隊 道安全性。

另外由於鋼纖維其直徑有限,得以最小 之擾動融入混凝土中,其與基體緊密接觸, 不會為腐蝕之傳播留下任何空間或多孔區 域。此外,纖維具有較小之陰極表面,限制 了腐蝕電流。根據國外文獻[11]顯示,纖維 完全腐蝕不會導致混凝十破裂。

(四)長期效益與環境友善

使用鋼纖維混凝土環片不僅能降低初 期建設成本,有助於節省國家經費,並且能 有效延長隊道之使用壽命,減少維護成本, 從長期維護成本而言,能夠減少建設廢料, 更符合近年來環保要求;另藉由導入鋼纖維 混凝土環片,可有效提升潛盾工法之經濟與 環境效益,未來在自來水工程中可具有良好 之應用前景;如最近完工之英國 Lee tunnel 即為全段鋼纖維混凝土環片隧道,因 SFRC 具有更高的耐腐蝕性和抗裂應力以及良好 的衝擊韌性,並可簡化生產降低生產成本。

五、結論與建議

由於一般混凝土對於水錘效應和氣穴 現象的抵抗效果較差,導致部分溢洪道、渠 道等設施容易因上述現象而受到損害,若能 採用鋼纖維混凝土,預期可加強表面之耐衝 擊能力,增加使用壽命。

在自來水工程之潛盾工法中常廣泛使

用預鑄鋼筋混凝土環片,而 SFRC 具有提升 混凝土的抗拉能力、高抗腐蝕性等優點,倘 使用 SFRC 環片預計可以減少鋼筋簡化結構 設計,因此可以減少儲存空間以及使用材料 還能夠減少人力;另外 SFRC 環片,具有顯 著提升抗機械衝擊能力,尤其在搬運和安裝 過程中,可有效減少因衝擊導致環片單體損 壞及報廢數量。

SFRC 因能提高混凝土材料強度,減少 材料用量,使得結構物輕量化(間接降低地震 力),亦能提高混凝土材料韌性及剪力抗性, 如應用於管線工程之固定台應有不錯之成 效。另外,曾笠維[12]曾探討鋼纖維與橫向箍 筋的取代關係,並評估鋼纖維取代橫向箍 筋,以放大箍筋間距;因此,倘自來水大型 水池使用 SFRC,將有利於混凝土澆置時充 分搗實,且能預防早期保護層剝落,抑制裂 縫生長。如應用於大型(預力)水池結構(

圖 9),由於大型預力水池有數量極多之鋼 筋,如能減少橫向箍筋量將有利於混凝土澆 置。



圖 9 聚興4萬噸水池底板鋼筋

參考文獻

- 1.廖文正, 2017, 專輯-新世代耐震材料-高流動性 應變硬化鋼纖維混凝土的研發及應用,土木水 利, 第四十四卷, 第一期, 52-58。
- 2.沈家毓,2021,鋼纖維噴凝土於隧道工程之運 用,國立中興大學碩士論文。
- 3. Naaman A E, 1972, A statistical theory of strength fiber reinforced concrete. Doctoral thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- 4. Moncef L. Nehdi & Ahmed M. Soliman, 2015, Exploratory study of ultra-high performance fiber reinforced concrete tunnel lining segments with varying steel fiber lengths and dosages.
- 5. Xiuling Wang and Jinxing Lai, 2021, Steel fiber reinforced concrete: A review of its material properties and usage in tunnel lining.
- 6.內政部, 2024, 建築物混凝土結構設計規範。
- 7.陳明宏、侯嘉松、周允文。鋼纖維噴凝土材料 管理與規範探討—以蘇花改谷風隧道為例。中 華技術第104卷(2014.10),84-99。
- 8. Charles Allen., 2014, The Lee Tunnel Secondary Lining Innovation and a Learning Curve in High Pressure Ground Water, Cutting Edge Conference, New York, November.
- 9.大林株式會社,2011,首都高速中央環状新宿線 中落合シールド(外回り)。
- 10.李瀚全, 2017, 鋼纖維混凝土預鑄環片在台灣 之混凝土設計與分析初探, 國立高雄應用科技 大學碩士論文。
- 11.P Jarast, M. Bakhshi, V. Nasri, 2023, Carbon footprint emissions of different tunneling construction., Expanding Underground - Knowledge and Passion to Make a Positive Impact on the World, Methods, P65-73.
- 12.曾笠維, 2014, 以鋼纖維取代橫向箍筋於New RC柱之應用評估, 國立台灣大學碩士論文。



作者簡介

張民岦先生

現職:台灣自來水股份有限公司工務處組長 專長:建築橋梁結構設計、自來水土建工程

熊彬成先生

現職:國立中興大學土木工程學系副教授

專長:深開挖、潛盾隧道、土壤結構互制分析、數值

模擬、地盤改良、大地監測

鄭宇哲先生

現職:台灣自來水股份有限公司工務處工程員

專長:機械工程

鄭格浩先生

現職:台灣自來水股份有限公司工務處副處長

專長:自來水土建、管線工程

王傳政先生

現職:台灣自來水公司總工程師 專長:自來水工程規劃設計、施工



大樓裝設起重機結構計算之研討

文/曾浩雄

摘要

各地水廠每天必須添加氯氣做為消毒 之用,尤其是大型水廠必然會建造桶裝氯氣 筒存倉,鋼製氯氣筒相當重(每瓶約9噸 重),又是極為危險之物品,若操作失誤會造 成危險甚至製引起災難。若該廠需要加氣氣 量非常大,則氯氣倉都會加設起重機機以利 裝卸。這時氯氣倉之設置必須考慮其屋頂之 載重外,尚須考慮儲倉承受側面之風力、地 震時產生橫力所引起之破壞力,最主要的是 要顧及起重機機之載重對廠房引起之各項 應力(是否能承擔起起重機機及鋼製氯氣筒 之重量)。操作大樓若為二層樓,則需建造樓 梯以利上下走動。

關鍵詞:起重機、鋼製氣氣筒、氣氣儲存倉、剛架、地震、 風力、 二層樓、樓梯,應力分析。

一、使用場合

大型給水廠因其出水量較大,因此須要 採用大型氯氯鋼桶做為日常添加氯氯之 用,氯氯鋼桶需要儲存倉,如台水公司第一 區管理處新山給水廠暖暖淨水場因其出水 量較大,該場就設有氣鋼筒儲存倉,氯氣是 危險的氣體,若操作不當會立即致命。因此 氯氣筒之操作必須非常謹慎,為了裝卸方 便,氯倉都會加設起重機起重機(Hoist),以 利作業。若大型給水廠每日出水量為300,000 CMD,加氯量一般約為4ppm,則每日加氯 氣量為 4 ppm * 300,000 * 1000 T/m3= 1,200 公斤。給水廠經常存量約為 6000 至 9000 kg。一桶氯氣鋼桶約7天就用完,因此更換 次數相當高。

二、氣倉之建造

一般氯倉大都為一樓鋼筋凝土造(當然 也可採用鋼骨造),其跨距約為8公尺(可存 放兩排),為吊起氯氣鋼筒之起重機應有吊起 10 T 重之能力。因此氯氣倉之大梁中央必須 能承受 12 T 之集中荷重(含起重機機及氣鋼 筒)。

三、基本資料

一樓剛架(Rigid Frame),如圖 1。

設氯倉之長 * 寬= 10 m * 8 m, 四周牆 梁之尺寸為 25 cm * 45cm, 一樓大梁之尺寸 為 35 cm * 60cm, 氯倉大梁承受頂板之長度 $L = (10 - 0.25) / 2 = 4.86 \,\mathrm{m}$ 。設頂板之厚度= 15 cm。頂板之重量= 2.4 * 0.15 *4.86 = 1.75 T。一樓大梁自重= 2.4 T/m3* 0.35 m*(0.60 -0.15) m = 0.3 8 T。若加設之鋼梁採用 300 mm * 300 m * 10 mm 之 I 型鋼, 其單位重 量= 94 kg/m。經香表, $I = 20,400 \text{ m}^4$ 。

則一樓剛架承受之總重 w = 1.75 + 0.38+0.94+0.2*(10-0.25)/2(活載重) $T = 4..05 \, T \circ 柱自重(高) = 2.16 \, T \circ$

依據「結構力學設計手冊」^[1] P. 166. Ш.21.至 21.3, 一層樓剛架(Rigid Frame) 之 k 值= $I_b / I_c * h / \ell = (35 * 60^3 / 36 + 20400)$



 $/(50*50^3/36)*3.6/8=0.6$

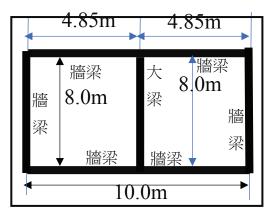


圖1氣氣倉平面圖

四、長期應力分析

(一)因自重引起之作用力

1. 氯倉架承受之自重(氯倉架詳如圖 1)。

3.H=H_A=- H_D = w*
$$\ell^a$$
 / ((4 * h)* (2 + k))
=4.05 * 8^2 / ((4 * 3.6) * (2 + 0.6)) = 6.92
T \circ

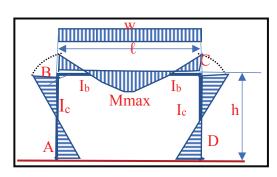


圖 1 自重引起之作用力示意圖

 $4.M_A = M_D = w * \ell^2 / (12 * (2 + k)) = 4.05 *$ $8^2 / (12 * (2 * 0.6)) = 18T-m$

$$5.M_B = M_C = w * \ell^2 / (6 (2 + k)) = 4.05 * 8^2 / (6 * (2 + 0.6)) = 16.62 \text{ T-m}$$

$$6.M_{max} = w * \ell^2 / 24 * (2 + 3k) / (2 + k) =$$

$$4.05 * 8^2 / 24 * (2 + 3 * 0.6) / (2 + 0.6) =$$

$$15.79 \text{ T-m} \circ$$

(二)因起重機引起之作用力(如圖 2)。

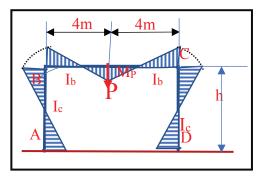


圖 2 起重機引起之作用力示意圖

 $1.V = V_A = V_D = 1 / 2 P = 12/2 = 6 T$

$$2.H = H_A = -H_D = 3P * \ell / (8 * (2 + k) * h))$$
$$= 3 *12 T * 8 / (8 * (2 + 0.6) * 3.6)) =$$
$$3.85 T \circ$$

$$3.M_A = M_D /= P * \ell / (8 * (2 + k)) = 12 * 8 /$$

(8 * (2 + 0.6)) T-m = 4.62 T-m \circ

$$4.M_B = M_C = P * \ell / (4 * (2 + k)) = 12 * 8 /$$

 $(4 * (2 + 0.6)) T-m = 9.23 T-m \circ$

5.M_P= P *
$$\ell$$
 * (1 + k) / (4 * (2 + k)) = 12 T
* 8 * (1 + 0.6) / (4 * (2 + 0.6)) = 14.77
T-m \circ

(三)因風力引起之作用力(如圖 3)。

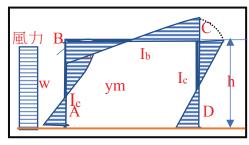


圖 3 風力引起之作用力示意圖

1.根據中央氣象局公告,清風(Fresh breeze) 有葉小樹搖擺,海面有波紋。六級風時速 10.8 to13.8 sec / hour, 風壓力=14 至 23 kgf/m^2 ,以 20 kgf/m^2 計。

- $2.V = -V_A = V_D = w * h^2 * k / (\ell * (1 + 6 k))$ $= 20 / 1000 \text{ T/m}^3 \text{ T/m}^2 * 3.6 \text{m}^2 * 0.6 / (.8)$ m * (1 + 6 * 0.6)) = 0.04 T
- $3.H_A = w * h / 8 * (13 + 6 k) / (2 + k) = 20$ $/1000 \text{ T/m}^3 * 3.6 / 8 * (13 + 6 * 0.6) / (2 +$ 0.6) = 0.06 T
- $4.H_D = -w * h / 8 * (3 + 2k) / (2 + k) = -20 /$ $1000 \text{ T/m}^3 * 3.6 / 8 * (3 + 2 * 0.6) / (2)$ +0.6) = -0.02 T \circ
- $5.M_A = w * h^2 / 24 * (30k^2 + 73 k + 15)) /$ $((2 + k) * (1 + 6 k)) = 20 \text{ kg/m}^2 / 1000$ $T/m^3 * 3.6^2 / 24 * (30 * 0.6^2 + 73 * 0.6 +$ 15)/((2+0.6)*(1+0.6))=0.18T-m \circ
- $6.M_B = w * h^2 / 24 * (18 k^2 + 35 k + 9) / ((2)$ + k) * (1 + 6 k)) = 20 kg/m² / 1000 T/m³ * $3.6^2 / 24 * (18 * 0.6^2 + 35 * 0.6 + 9) /$ ((2+0.6)*(1+0.6))=0.1T-m \circ
- $7.M_C = w * h^2 / 24 * k * (25 + 18 k) / ((2 + k))$ * (1 + 6 k) = 20 kg/m² /1000 T/m³ * 3.6 $m^2/24 * 0.6* (25 + 18 * 0.6) / ((2 + 0.6))$ * (1 + 6 * 0.6) = 0.02 T-m \circ
- $8.M_D = w * h^2 / 24 * (18 k^2 + 35 k + 9) / ((2)$ + k) * (1 + 6 k)) = 20 kg/m² /1000 T/m³ * $3.6 \text{ m}^2 / 24 * (18 * 0.6 ^2 + 35 * 0.6 + 9) /$ ((2+0.6)*(1+6*0.6))=0.03 T-m \circ
- 9.v = (13 + 6 k) * h / (8 * (2+k)) = (13 + 6)* 0.6) * 3.6 m / (8 * (2 + 6 * 0.6))= 1.33 $m \circ$
- $10.\text{My} = \text{M}_A \text{H}_A * \text{y} \text{w} * \text{y}^2 / 2 = 0.18 \text{ T-m} 0.06 \text{ T} * 1.33 \text{ m} + 20 \text{ kg/m}^2 / 1000 \text{ T/m}^3 *$ $1.33 \text{m}^2 / 2 = 0.12 \text{ T-m}$

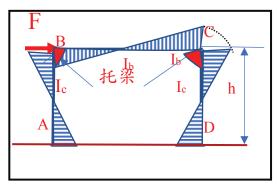
五、短期應力分析

- 1.據統計 17 級風之風速= 6.1 公尺/秒。風壓 力=377 k g/m² 至 449 kg/m²。採用中值= 413 kg/m²。同圖 3。
- $2.V = -V_A = V_D = w * h^2 * k / (\ell * (1 + 6 k))$ $= 413 \text{ kg/m}^2 / 1000 \text{ T/m}^3 * 3.6 \text{m}^2 * 0.6 /$ $(8 \text{ m} * (1 + 6 * 0.6)) = 7.69 \text{ T} \circ$
- $3.H_A = w * h / 8 * (13 + 6 k) / (2 + k) = 413 k$ $g/m^2 / 1000 \text{ T/m}^3 * 3.6 \text{ m} / 8 * (13 + 6 * 0.6)$ $/(2+0.6) = 1.19 \text{ T} \circ$
- $4.H_D = -w * h / 8 * (3 + 2k) / (2 + k) = -413$ $k g/m^2 / 1000 T/m^3 * 3.6 m / 8 * (3 + 2 *)$ $0.6)/(2+0.6) = -0.3 \text{ T} \circ$
- $5.M_A = w * h^2 / 24 * (30 k^2 + 73 k + 15)) /$ ((2 + k) * (1 + 6 k)) = 413 k g/m² /1000 $T/m^3 * 3.6m^2 / 24 * (30 * 0.6^2 + 73 * 0.6)$ $+15)/(2+0.6) = 5.97 \text{ T} \circ$
- $6.M_B = w * h^2 / 24 * k * (23 + 6 k) / ((2 + k))$ * $(1 + 6 \text{ k}) = 413 \text{ kg/m}^2/1000 \text{ T/m}^3 *$ $3.6\text{m}^2 / 24 * 0.6 * (23 + 6 * 0.6) / ((2 +$ 0.6) * (1 + 0.6)) = 0.86 T-m
- $7.M_D = w * h^2 / 24 * k* (18k^2 + 35 k + 9) /$ $((2+k)*(1+6k)) = 413 k g/m^2 / 1000$ $T/m^3 * 3.6 m^2 / 24* (0.6 * (18 * 0.6 ^2 +$ 35 * 0.6 + 9) / ((2 + 0.6) * (1 + 6 * 0.6)) $= 0.32 \text{ T-m} \circ$
- 8.y = (13 + 6 k) * h / (8 * (2+ k)) = (13 + 6)*0.6)*3.6 m))/(8*(2+6*0.6)) =1.33 m °
- $9.\text{My} = \text{M}_A \text{H}_A * \text{y} \text{w} * \text{y}^2 / 2 4.34 1.19$ $T-m * 1.33 m + 0.413 * 1.33 m^2 / 2 = 3.12$ T-m ∘



因地震引起之作用力(如圖 4)。

- 1.地震横力 F = 水平震度* 鋼架承受之重 量 \circ F = 0.25 * ((2.4 T-m * (0.35 m * 0.6 m * 8 m + 0.15 m * (0.6 - 0.15) m * 8 m * 10 m + 0.5 m * 0.5 m * 3.6 m * 2) + 0.2 T/m² *8 m * 10 m) = 9.33T \circ
- $2.V = -V_A = V_D = 3 * p * h * k / (\ell * (1 + 6k))$ =3*9.33 T * 3.6 m * 0.6 / (8 m * (1 + 6 * $0.6) = 1.45 \text{ T} \circ$
- $3.H=H_A=-H_D=-1/2 F=9.33 /2=4.67 T$



地震引起之作用力示意圖

- $4.-M_A = M_D = F * h /2 / ((1 + .3k) * (1 + 6 k))$ = 9.33 T-m * 3.6 m / 2 / (1 + 3 * 0.6) =7.96 T-m °
- $5.M_B = -M_C = F * h * (3 k / (1 + 6 k)) =$ 9.33 T * 3.6 m * (3 * 0.6) / (1 + 6 * 0.6) =11.58 T-m °

六、一樓長短期應力整合

- (一)根據規範,所有材料對應短期作用力之 容許應力可提升 1/3,因此作用力整合時 須先就短期作用力折減為其原有之3/4。
- (二)地震與 17 級強風同時發生之機率相當 小,一般均取其大值。
- (三)設整合後之作用力分別為: $\Sigma V_A = 18.56$ $+ 6 + 0.04 + 1.45 * 3/4 = 25.69 \text{ T} \circ \Sigma H_A =$

7.01 + 3.85 + 0.06 + 1.19 * 3 / 4 = 11.81 $T \circ \Sigma M_A = 8.41 + 4.62 + 0.18 + 7.96 * 3 / 4$ = 19.18 T-m \circ Σ M_B = 16.82 + 9.23 + 0.1 $+1.58*3/4 = 34.84 \text{ T-m} \circ$

七、核算全性

- (一)柱之壓應力= $\Sigma V_A/A$ (斷面積) = 25.69 T * $1000 \text{ kg/T} / 50 \text{ cm} 50 \text{ m} = 10.28 \text{ kg/cm}^2$ < 52.5 kg/cm², OK (採用 210 kg/cm² 混凝 土)。
- (二)柱之剪應力= Σ H_A/A (斷面積) = 11.81 T * $1000 \text{ T/m}^3 / 50 \text{ cm} / 50 \text{ cm} = 4.72 < 19.3$ kgf/cm², OK o
- (三)柱頭承受之力矩 Ma=19.4 大於因風力對 柱產生之力矩,所以需要之鋼筋量 A s= $\Sigma M_A / ad = 19.45 / 0.0122 / (50 - 4) =$ 34.66 cm²。採用♦ 22 mm,需要之根數= 34.66 / 3.871 = 8.95。採用 9 根。
- (四)因自重對梁產生之最大力矩 Mmax=15.98 T-m > 因起重機引起之 M_P=14.77 T-m,因 此大梁所需要之鋼筋量 $A = M_P / ad =$ $14.77 / 0.0122 / (60 - 4) = 21.62 \text{ cm}^2$,採 5.59。採用6根。

八、增建二樓

- (一)一般操作室都會設置機電設備,因此會 有噪音,因此大都不會辨公大樓內,尤 其是場內可建築面積不足時,氯倉大都 為一樓鋼筋凝土造,(當然也可採用鋼骨 造), 氯倉上會加蓋二層樓作為廠內操作 室之用。
- (二).基本資料
- 1.二樓剛架(Rigid Frame),如圖 5。

- 之尺寸為25 cm * 40 cm, 一樓大梁之尺寸 為 40 cm * 60 cm, 二樓大梁之尺寸為 35 cm * 50 cm, 則氯倉大梁承受頂板 之面積 $A = (10 - 0.3) / 2 * (8 - 0.25) = 4.85 \text{ m}^2 \circ$ 設頂板之厚度 = 15 cm。頂板之重量 = 2.4 * 0.15 * 4.85 = 1.75 T。 一層大梁自重= 2.4 * 0.4 * (0.60 - 0.15) = 0.43 T。二層大梁 自重 = 2.4 * 0.35 * (0.60 - 0.15) = 0.38 T \circ
- 3.依據「結構力學設計手冊」^[1] P. 172. Ⅲ. 24. 及 III. 24.2 , 剛架之 $k = I_2 * h_1 / (I_1 * \ell) =$ $(35*60^3/36)/(50*50^3/36)*(3.6/$ 8) = 0.54 \circ α = I₃* h₁ / (I₁* h₂) = (45 cm * 45 cm³ / 36 * 3.6) / (50 cm * 50 cm ³ / 36) * 3) = $0.79 \circ \beta = I_2 * h_1 / (I_1 * \ell) = (35)$ $cm * 60 cm^3 / 36) * 3.6 m / ((50 cm * 50)$ cm 3 / 36) * 8 m) =0.54 \circ γ = I₄ * h₂ / (I₃ * ℓ) = (30 cm * 45 cm³ / 36) * 3 m / ((45 cm * 45 cm 3 / 36) * 8 m) = 0.25 $^{\circ}$ Δ = 4 + $2 * \beta + 2 * \gamma + \beta * \gamma + 3\alpha + 2\alpha * \gamma = 4 + 2 *$ 0.54 + 2 * 0.25 + 0.54 * 0.25 + 3 * 0.79 + 2 *0.79 * 0.25 * 0.25 = 8.18 \circ

九、二層樓長期應力分析

(一)因自重引起之作用力

- 1.二層樓之剛架承受之自重所產生之作用 力,詳如圖 5。
- 2.二層樓之二樓承受之均佈荷重 w2 與一層 樓剛架一樓承受之總重相 w₂ ≒ 4.05 T。 二層樓之一樓剛架頂板之厚度= 15 cm。頂 板之重量=2.4 T/cm³ *0.15 *4.86 = 1.75 T, 大梁之重量= 2.4 T/m³ * 0.35 * (0.60 -0.15) = 0.38。活載重= 0.4 T/cm²* (10-

0..25) m / 2 = 1.95 T。若加設之鋼梁仍採用 300 mm * 300 mm *10 mm 之 I 型鋼,其 單位重量= $94 \text{ kg/m} \circ$ 查表, $I = 20.400 \text{ m}^4 \circ$

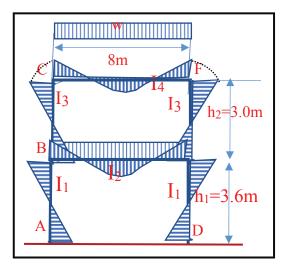


圖 5 氯倉承受自重示意圖

- 3.二層樓之一樓承受之均佈荷重 w₁ ≒ (1.75 + 0.38 +1.95 + 0.94) T = 5.02 T —樓柱自 重= 2.4 T/m³ * 0.5 m * 0.5 m * 3.6 m (高) = 2.16 T。二樓柱自重= 2.4 T/m³ * 0.45 m * 0.45 m * 3.0 m (高) = 1.46 T。
- $4.V = V_A = V_D = (2 + \gamma) * (w_1 w_2) * \ell^2 / (14)$ $*\Delta$) = (2 + 0.25) * (5.02 - 4.05) * 8^2 / $(14 * 8.18) + 2.16 + 1.46 = 4.84 \text{ T} \circ$
- $5.M_{AB} = (2 + \gamma) * (w_1 * \ell^2 w_2 * \ell^2) / 14\Delta =$ $((2+0.25)*(5.02-4.05)*8^2)/(14*$ $8.18) = 1.22 \text{ T-m} \circ$
- $6.H=H_A=-H_D=(w_1+w_2)*\ell^a/((4*h)*$ (2 + k) = $(4.05 + 5.02) * 8^2 / (4 * (3)$ +3.6) * (2 + 0.6)) = 8.46 T \circ
- $7.M_{AB} = (2 + \gamma) * (w_1 * \ell^2 w_2 * \ell^2) / 14\Delta =$ $((2+0.25)*(5.02-4.05)*8^2)/(14*$ 8.18) = 1.22 T-m \circ
- $9.M_{BA} = 2 * (2 + \gamma) * (w_1 * \ell^2) w_2 * \ell^2) /$ $14\Delta = (2 * (2 + 0.25) * (4.05 * 8^2) -$



$$5.02 * 8^2) / (14 * 8.18) = 7.38 \text{ T-m}$$

$$10.M_{BE} = (4 + 2\gamma + 3\alpha + 2 \alpha \gamma) * w_1 * \ell^2 + \beta$$

$$* w_2 * \ell^2) / 12\Delta = ((4 + 2 * 0.25 + 3 * 0.79 + 2 * 0.79 * 0.25) * (5.02 * 8^2) + 0.54 * 4.05 * 8^2)) / (12 * 8.18) = 25.2$$
T-m \circ

$$\begin{aligned} &11.M_{BC} = (3\alpha + 2*\alpha \gamma)*(w_1*\ell^2 + \beta*w_2*\ell^2)/12\Delta = ((3*0.79 + 2*0.79*0.25)*\\ &(5.02*8^2 + 0.54*4.05*8^2)/(14*6.48) = 16.4 \text{ T-m} \ \circ \end{aligned}$$

12.M_{CB}= ((
$$\alpha \gamma * w_1 * \ell^2$$
) + (4 + 2* β + 3 α)
* ($w_2 * \ell^2$))/ 12 Δ = ((0.79 * 0.25 * 5.02
* 8^2) + 4 + 2 * 0.54 +3*0.79) * (4.05 * 8^2))/(12 * 8.18) = 20.32 T-m \circ

13.M_{CF} =
$$(\alpha \gamma * w_1 * \ell^2 + (2\beta + 3\alpha) * w_2 * \ell^2) / 12\Delta = (0.79 * 0.25 * 5.02 * 8^2 + (2 * 0.54 + 3 * 0.79) * 4.05 * 8^2) / (14 * 6.48) = 8.36 T-m $\circ$$$

(二)因起重機引起之作用力,詳如圖 6。

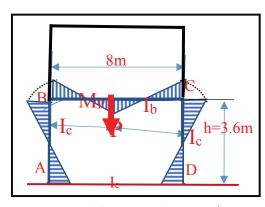


圖 6 起重機引起之作用力示意圖

$$1.V_A = V_D = 1/2P = 12/2 = 6T$$
 •

2.H = H_A= - H_D = 3P *
$$\ell$$
 / (8 * (2 + k) *h) = 3 * 12 * 8 / (8 * (2 + 0.62) * 3.6) = 3.82 T \circ

3.M_A= M_D= P *
$$\ell$$
 / (8 * (2 + k)) =12 * 8 / (8 * (2 + 0.62)) =4.58 T-m \circ

$$4.M_B = M_C = P * \ell / (4 * (2 + k)) = 12 *8 /$$

 $(4 * (2 + 0.62)) = 9.16 \text{ T-m} \circ$

5.
$$M_P = P * \ell * (1 + k) / (4*(2+k)) = 14.84 T$$

-m \circ

十、短期應力分析

(一)因風力引起之作用力(如圖7)。

- 1.由上述之分析因微風力引起之作用力非常 小,故可略而不計。
- 2.因強風力引起之作用力比因地震引起之作 用力較小,由於兩者同時發生之機率相當 低,因此一般都採用因地震發生之作用力。



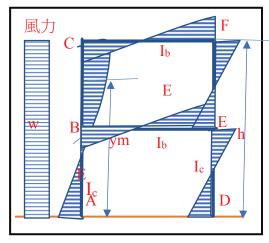


圖 7 風力引起之作用力示意圖

$$4.V = -V_A = V_D = w * h^2 * k / (\ell * (1 + 6 k))$$

$$= 20 /1000 \text{ T/m}^3 * (3.6+3.0) \text{ m }^2 * 0.6 /$$

$$(8 \text{ m } * (1 + 6 * 0.6)) = 0.14 \text{ T} \circ$$

5.H_A= w * h / 8 * (13 + 6 k) / (2 + k) = 20
/1000 T/m³ * (3.6 + 3.0) m / 8 * (13 + 6 * 0.6) / (2 + 0.6) = 0.11 T
$$\circ$$

$$6.H_D = -w * h / 8 * (3 + 2k) / (2 + k) = -20 /$$

1000 T/m³ * (3.6 + 3.0) m / 8 * (3 + 2 * 0.6) / (2 + 0.6) = -0.03 T
$$\circ$$

7.M_A= w * h² / 24 * (
$$30k^2 + 73 k + 15)) /$$

(($2 + k$) * ($1 + 6 k$)) = $20 kg/m^2 / 1000$
T/m³ * ($3.6 + 3.0$) m² / 24 * ($30 * 0.6^2 + 73 * 0.6 + 15$) / (($2 + 0.6$) * ($1 + 0.6$)) = $0.61T$ -m °

$$8.M_{B} = w * h^{2} / 24 * (18 k^{2} + 35 k + 9) / ((2 + k) * (1 + 6 k)) = 20 kg/m^{2} / 1000 T/m^{3}$$

$$*(3.6 + 3.0) m^{2} / 24 * (18 * 0.6^{2} + 35 * 0.6 + 9) / ((2 + 0.6) * (1 + 0.6)) = 0.32T-m °$$

9.M_C= w * h² / 24 * k * (25 + 18 k) / ((2 + k) * (1 + 6 k)) = 20 kg/m² /1000 T/m³ * (3.6 + 3.0) m² /24 * 0.6* (25 + 18 * 0.6) / ((2 + 0.6) * (1 + 6 * 0.6)) = 0.07 T-m
$$\circ$$

11.y =
$$(13 + 6 k) * h / (8 * (2 + k)) = (13 + 6 * 0.6) * (3.6 + 3.0) m / (8 * (2 + 6 * 0.6)) = 2.45 m$$

$$10.\text{My= M}_{A} - \text{H}_{A} * \text{y} - \text{w} * \text{y}^{2} / 2 = 0.43 \text{ T-m} \circ$$
 (二)地震引起之作用力詳如圖 7。

* 3 * 2) + 0.2 * 10 * 8) = 12.36 T
$$\circ$$
 3.V=

-V_A=V_D= (F₂ * (3.0 + 3.6) + F₁ * 3.6))

+ (w₁ + w₂)) * 8 / 2) / 8 m = (12.36 * (3.06 + 3.6) +17.05 * 3.6 + (4.05 + 5.02)

* 8 m/2) / 8 m = 13.43 T \circ

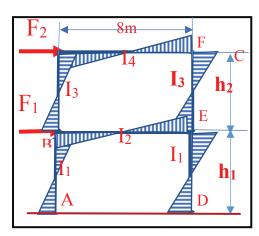


圖 7 地震引起之作用力示意圖

3.H = H_A=- H_D = (F1 +F2) / 2 = (12.36+17.04)
/ 2 = 14.7 T
$$\circ$$

$$4.M_{A} = (3k + 1) * h_{2}* F_{2} + (18K^{2} + 12k + 1)$$

$$* h_{1}* (F1 + F2) / ((2*36 k^{2} + 18k + 1)) =$$

$$(3*0.54 + 1) * 3.0 * 12.36 + (18*0.54^{2} + 12*0.54 + 1) * 3.6 * (17.04 + 12.36)) /$$

$$((2*36*0.54^{2} + 18*0.54 + 1)) = 34.04$$
T-m \circ

5.M_{BA}=
$$(3k+1)*h_1*F_2+6*k*(3k+1)$$

 $*h_2*(F_1+F_2))/((2*(36k^2+18k+1)))$
 $=(3*0.54+1)*3.6*12.36+6*0.54*(3*0.54+1)*3*(17.04+12.36))/((2*36*0.54^2+18*0.54+1))=27.28 T-m $\circ$$

$$6.M_{BE} = (3k + 1) * h_1 * F_2 + (18K^2 + 12k + 1)$$

$$* h_1 * (F1 + F2) / ((2 * 36 k^2 + 18k + 1)) =$$

$$(3 * 0.54 + 1) * 3.6 * 12.36 + (18 * 0.54^2 +$$

$$12 * 0.54 + 1) * 3.6 * (17.04 + 12.36)) /$$



 $((2*36*0.54^2 + 18*0.54 + 1)) = 46.15$ T-m °

 $7.M_{BC} = (3k + 1) * h_1 * F_2 + (18 K^2 + 12k + 1)$ * h_1 * $(F1 + F2) / ((2 * 36 k^2 + 18k + 1)) =$ $(3*0.54+1)*3.6*12.36+(18*0.54^2+$ 12 * 0.54 + 1) *3.6 * (17.04 + 12.36))/ $((2*36*0.54^2 + 18*0.54 + 1)) = 46.15$ T-m °

 $8.M_C = (3k + 1) * h_1 * F_2 + (18K^2 + 12k + 1)$ * h_1 * $(F_1 + F_2) / ((2 * 36 k^2 + 18k + 1)) =$ $(3*0.54+1)*3.6*12.36+(18*0.54^2+$ 12 * 0.54 + 1) *3.6 * (17.04 + 12.36)) / $((2*36*0.54^2 + 18*0.54 + 1)) = 46.15$ T-m °

十一、長短期應力整合

- 1.根據規範,所有材料對應短期作用力之容 許應力可提升 1/3,因此作用力整合時須先 就短期作用力折減為其原有之 3/4。
- 2. 設整合後之作用力分別為: $\Sigma V_A = 4.84 + 6$ $+ 0.04 + 1.45 * 3/4 = 25.69 \text{ T} \circ \Sigma H_A = 7.01 +$ $3.85 + 0.06 + 1.19 * 3 / 4 = 11.81 \text{ T} \circ \Sigma M_A =$ 8.41 + 4.62 + 0.18 + 7.96 * 3 / 4 = 19.18 $T-m \circ \Sigma M_B = 16.82 + 9.23 + 0.1 + 1.58*3/4 =$ 34.84 T-m °

十二、核算全性

- 1.柱之壓應力= $\Sigma V_A/A$ (斷面積) = 25.69 T * $1000 \text{ kg/T} / 50 \text{ cm} 50 \text{ m} = 10.28 \text{ kg/cm}^2 <$ 52.5 kg/cm², OK (採用 210 kg/cm² 混凝土)。
- 2.柱之剪應力= Σ H_A / A (斷面積) = 11.81 T * $1000 \text{ T/m}^3 / 50 \text{ cm} / 50 \text{ cm} = 4.72 < 19.3$ kgf/cm², OK o
- 3.柱頭承受之力矩 Ma=19.4 大於因風力對柱

產生之力矩,所以需要之鋼筋量 $A = \Sigma M_A$ / ad = 19.45 / 0.0122 / (50 - 4) = 34.66cm²。採用**6** 22 mm,需要之根數= 34.66 / 3.871 = 8.95。採用 9 根。

4.因自重對梁產牛之最大力矩 Mmax=15.98 T-m >因起重機引起之 MP=14.77 T-m,因 此大梁所需要之鋼筋量 $A = M_P / ad =$ $14.77 / 0.0122 / (60 - 4) = 21.62 \text{ cm}^2$,採用 ϕ 22 mm, 需要之根數= 21.62 / 3.871 = 5.59。 採用6根。

十三、樓梯之設計

- 1.二樓(含)以上之建築物都必須設置樓梯, 其形式視建物平面設計而定,最常用的是 直達式,其他還有加設平台式及轉折式向 上(前進方向做 180 度之迴轉)。
- 2.依照建築技術規範之規定,在都市計畫節 圍內,所有建築物第一之高度不得少於3.6 公尺。
- 3. 樓梯每級之級高(Rise, R)及級深 (Trace,T),也有特殊規定:即級高需為 16 公分以下,級深不得小於26 公分,而 且 55 公分 ≤ 2 R + T ≤ 65 公分。
- 4. 若樓梯寬為 1.5 m, 級高= 15 cm, 級深= 28 cm,設平台寬度=1.5 m,每公尺重 w = 2.4 $T/m^3 * 0.15 * 0.28 / 2 * 1.5 = 0.28 T$
- 5.直達式作用力分析:
- $(1)\theta = (3.6/4) = \tan^{-1} 0.9 \cdot \theta = 48^{\circ}$
- $(2)M_A = -(w * a^2) / 12 = 0.28 * 4^2 / 12$ $=0.37T-m \circ$
- $(3)M_B = -(w * a^2) / 12 = 0.28 * 4^2 / 12$ $=0.37 \text{ T-m} \circ$
- $(4)R_A = w * a / 2 = 0.28 * 4 / 2 = 0.56 T/m$ \circ

- $(5)H_A = w * a^2 / 2h = w * a^2 / 2h = 0.28 * 4^2 / 2h = 0.28 *$ (2 * 3.6) = 0.62 T/m \circ
- 6.平台式作用力分析
- (1)平台式樓梯詳如圖 8。

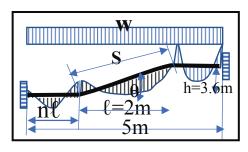


圖 8 平台式樓梯作用力示意圖

- $(2)^{\frac{1}{2}}C = w * \ell^2 / 12 = 0.28 * 5^2 / 12 =$ $0.58 \circ a = ((1-2n)2 * (\sec\theta - 1) + 1) / ((1 2n) * (sec\theta +2n) = ((1-2 * 0.3)^2 *$ (1.14 - 1) + 1) / (1 - 2 * 0.3) * (1.14 - 2 *0.3) = 4.73
- $(3)M_A=M_B=(1.5-0.5a) * C = (1.5 0.5 * 4.73)$ * $0.58 = 0.52 \text{ T-m} \circ$
- (4)需要之鋼筋量 As = M / ad = 0.52 / 0.0122 $/(12-2) = 4.26 \text{ cm}^2 / \text{ m}$,採用 ϕ 13 mm 鋼 筋,其所需之根數S = 4.26/1.27 = 3.35。 採用 4 跟/m。

7.轉折式

轉折式只是兩座平台式之組合,兩者方 向相反,但其作用力與平台式完全相。 同, 恕不贅述。

十四、結論

(一)大型給水廠為每天處理大容量之氯氣加 藥量,需要採用桶裝氯氣鋼筒,為了裝 卸方便,都會加設起重機起重機,因此 氯氯處存倉在設計之前就必須考量其梁 柱之受力,以確保建築物之安全。

- (二)17級強風對剛架所產生之作用力比發生 地震時所產生之作用力較小,因此一般 都採用發生地震時所產生之作用力。
- (三)在梁與柱交接處(圖 4 所示之 B 及 C), mm 鋼筋),可增加有效深度,為對抵抗 力矩會有相當大之助益。

參考文獻

1.結構力學設計手冊:清田青司 高須治1968/7。

作者簡介

曾浩雄先生

現職:尚潔環境工程公司技師。

專長:自來水工程規劃設計及施工。



「雲林至嘉義系統送水管備援複線工程— 雲嘉複線水管橋」工程簡介

文/邱朝右、蔡敏男、陳宏旌、石建愉、吳志宏

摘要

「雲林至嘉義系統送水管備援複線工程 - 雲嘉複線水管橋 」 旨在加強雲林與嘉義地 區的供水系統,應對產業用水需求與氣候變 遷挑戰。該工程設計包括三座不同型式的橋 梁,總長461米,能提供每日4萬至10萬噸 的水量。工程特別注重耐震、耐洪、耐久、 環境和諧及未來維護管理等需求。選址考慮 了周邊生態及土地問題,橋梁設計融合當地 文化特色。品質管控方面,進行了基樁試 驗、鋼結構雙重防護處理,以及生態保護措 施, 並確保工程在汛期前完成。此項工程獲 得多項殊榮,顯示其在品質與效益上的卓越 表現。

關鍵字:水管橋、供水效益、耐震、耐洪、生態保護

一、前言

隨著全球產業升級的步伐加快以及大 量台商同流,對於產業用水的需求也日益增 加。為了因應此需求並配合政府「根留台灣 企業加速投資行動方案」,同時應對氣候變 遷所帶來的區域性供水風險, 本工程的核心 目標是進行雲林與嘉義地區的備援調度幹 管工程。此項工程將顯著加強不同供水系統 之間的協調與調度,提升整體供水系統的韌 性, 並有效降低未來缺水風險。這項工程的 實施不僅符合行政院提出的「備援」及「調

度」穩定供水的策略,還將為當地區域的長 期發展需求提供強有力的支援,促進雲嘉地 區的經濟穩定與繁榮。



圖 1 雲嘉雙向系統備援調度說明

本案設計包括多種橋樑結構,具體包 括:一座三跨連續梯形桁架橋、一座提籃式 鋼拱橋以及兩座二跨連續梯形桁架橋,總橋 長達 461 米。左右岸連接 1200 mm ∮ 管線, 左岸埋設長度 20 米,右岸則埋設長度 210 米。

完工後,本案將能夠雙向支援雲林和嘉 義地區,提供每日 4 萬噸(重力流)至 10 萬噸(加壓)的水量,從而確保雲嘉地區的 穩定供水。這將有助於促進當地的產業發 展,並進一步激發經濟的成長動能。



圖 2 113 年自來水新進人員實際參訪雲嘉複線 水管橋

二、場址及水管橋型式選擇

(一)場址

本工程的水管橋跨越北港溪,設計過程中綜合考慮了多項因素,包括「嘉南大圳北幹線」、「柴林腳抽水站」、「水流攻擊側」、「既有越堤道路」、「土地權屬問題」及「周邊民房的分布」等。在這些因素的綜合評估下,本案決定選擇位於嘉南大圳北幹線上游 150米處設置新橋,這樣的選址可以有效避免與當地土地權屬相關的爭議,並大大提升管線的安全性,從而確保供水系統的穩定運行。



圖 3 選址位置圖說明

(二)水管橋型式

主橋的設計以「日出」為意象,象徵新 管線的啟動與誕生。選擇黃色作為橋梁的主 要色調,與周圍成熟的稻穗顏色相呼應,增 添了地方特色,與當地的自然景觀和文化特 色緊密結合。引橋部分則採用藍綠色設計, 巧妙地銜接藍天與綠地,寓意著本工程完成 後將為當地帶來更加繁榮和諧的發展,實現 與自然環境的和諧共生。



圖 4 水管橋日出意象模擬圖

三、工程特色

本工程設計聚焦於五大需求,這些需求 包括耐震性、耐洪性、耐久性、環境和諧性 及未來維護管理,具體說明如下:

(一)耐震性

1.本工程依照最新的公路橋梁耐震設計規範 進行設計,滿足對於強烈地震的抗震要 求,具備在烈震(約 2500 年回歸期地震) 情況下依然能夠保持穩定、不倒的能力。 在強震(約 475 年回歸期地震)情況下可 進行修復,並且在小震(約 50 年回歸期地 震)下能夠確保結構無損壞。



圖 5 耐震耐風說明圖



2.提籃式鋼拱橋的拱肋設計採傾斜角度,使 其在遇到震動時具有更好的穩定性;梯形 桁架橋的構件則選用了圓管型式,以減少 風阳並提升整體結構的安定性。

(二)耐洪性

- 1.在耐洪設計上,本工程選擇了一座單跨85 米的鋼拱橋來跨越深槽,這樣能夠有效減 少洪水對結構物的影響,提升橋梁的河防 安全性, 並降低對河床生態的破壞。
- 2.進行樁基設計時,本案考慮了河床的短期 及長期沖刷深度,從而進一步提升了橋梁 的耐洪能力,保證其長期穩定運行。



圖 6 耐洪圖說說明

(三)耐久性

1.水管橋的鋼結構部分採用了先進的熱浸鍍 鋅技術,並且選擇了外鍍內不鍍的 SP 鋼管 設計。此外,在水管橋及送水管表面增塗 了氟素樹脂塗料,進一步加強了結構的耐 久性與耐候性。



圖7 鍍鋅廠驗

2.為了提高橋墩的抗洪水衝擊能力,本案在 水流區域的橋墩外部進行鋼板包覆,有效 减緩了河水沖刷造成的損壞。



圖 8 臨水區 P3 及 P4 墩柱設置防撞鋼板

(四)環境和諧性

- 1.設計階段蒐集相關生態環境調查資料,初 步瞭解基地生態特性, 並辦理生態檢核作 業。
- 2.在生態檢核方面,主要採取了幾項措施來 减少對當地環境的影響:
- (1)迴避:橋址選擇時,避開植物保全對象-蒲葵;新橋採單跨85m鋼拱橋跨越深槽, 維護河川牛熊;橋梁設置維修通道連結橋 梁兩端,未來維修不需下至河床,不影響 河床生熊。
- (2)縮小:利用現有的越堤道路進行施工進 出,從而有效減少環境的干擾。
- (3)减輕:設計上採用簍空鋼拱及梯形桁架, 减少對生態光照的遮蔽;配色上融入當地 景觀,降低視覺衝擊。
- 3.基樁採全套管基樁施工,並以鋼便橋進行 吊裝,避免使用涵管對水域生態的影響, 並無需臨時支撐,大大減少了對水域生態 的干擾。
- 4.採圓形墩柱,減少阻水面積,維持河道穩 定,減輕生態影響。

5.使用雲林縣府提供的回收溫室防蟲網降低 揚塵,保護農作物,並在河床裸露面鋪設 稻草席及撒草籽,加速綠化恢復。



圖9 雲林縣政府提供防塵網再利用避免農作被 危害



圖 10 河床裸露面鋪設稻草席及撒草籽,加速 綠化回復原貌

(五)未來維管考量

- 1.設置雙邊維修步道,未來檢修無需下至河 床,且無隱匿構件可目視直觀檢測,提升 檢修安全性及便利性。
- 2.考量河川局機具搶災通行及右岸堤頂道路 自行車道通行,橋台設置於堤後坡,梁下 淨高維持 3.5 米,利於河川局搶災機具及自 行車通過。
- 3.本工程設置雙邊維修步道(並設橫越梯)、平 台、樓梯等設施,確保後續維護管理人員 的安全。



圖 11 設置用維修步道及相關上下設備

四、重要工項品質管制

(一)「河防有兼顧,堤頂留淨高」

堤頂梁下淨高達 3.5 米,確保河防搶險 機具(高度小於 3.2 米) 能順利通行。

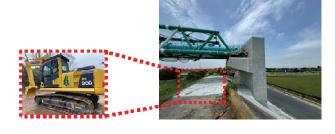


圖 12 橋台堤頂下方預留機具搶修通道

(二)「基樁很重要,試樁免不了」

由於地質主要為細砂和黏土,導致大地 工程的不確定性較高,因此進行了樁載重試 驗,以多重方式確保承載力達標。





圖 13 基樁載重試驗

(三)「鍍鋅加塗裝,雙重防護好」

鋼構主體採用鍍鋅加塗裝雙重防護技術,提升耐久性與經濟性,並達到節能減碳



與環保目的。

免維護年限可估 1.5 倍*(鍍鋅+塗裝),即 1.5*(25+15)=60 年以上。



圖 14 水管橋鍍鋅及塗裝現況說明

(四)「鋼板有磨圓,鋅漆黏牢牢」

鋼板銳角邊緣設計角隅磨圓, 鋅層及塗 料較不易破裂,增加防蝕系統耐久性。

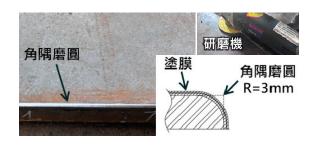


圖 15 鋼板磨圓說明圖

(五)「生態調查早,施工少干擾」

為避免影響易危物種蒲葵,橋址特別避 開其生長區域。長跨距主橋設計選擇深槽不 落墩,並利用既有的越堤道路進出堤防,減 少對環境的干擾。

此外,便橋僅在吊裝前才進行施工,進 一步減少水陸域施工的影響,確保生態環境 得到妥善保護,避免過度干擾。

(六)「螺栓指示片,拴緊很明瞭」

螺栓墊片內部設有彩色矽膠,當螺栓達 到預定張力時,彩色矽膠會被擠出,從而清 楚顯示張力是否符合要求。



圖 16 完工後水管橋旁鳥類停駐旁邊樹叢





圖 17 張力指示片

(七)「分析採動態,鋼構省材料」

設計採 3D 全模型動態應力分析,相比 傳統靜態分析,節省約3%的鋼材用量。



圖 18 動態分析說明

(八)「元件選大廠,品質肯定高」

重要材料選用中鋼鋼板+春雨螺栓+柏 林油漆…等,產品來自優質大廠,品質有保 障。





圖 19 採用優質大廠油漆

(九)「管控吊裝時程,汛期拆便橋」

在吊裝前進行 BIM 模擬流程,並根據需 要將吊車容量從 400T 提升至 500T。經過多 方努力,確保在汛期前完成吊裝作業並拆除 便橋,從而保障工地和河防安全。



圖 20 吊裝施工管控說明

五、工程成果展現(獲獎肯定)

本案於 112 年獲得雲林縣政府「112 年 度優良營建工地評鑑」優等,並於113年參 加「經濟部優質獎評選」獲得亞軍,近期更 榮獲「第 24 屆公共工程金質獎」佳作等殊 榮。

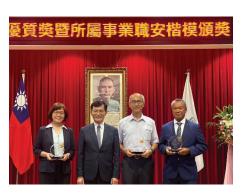




圖 21 各項獎項照片

作者簡介

邱朝右先生

現職:台灣自來水公司第五區管理處工程員

專長: 土木工程

蔡敏男先生

現職:台灣自來水公司第五區管理處民雄所主任

專長: 十木工程

陳宏旌先生

現職:黎明工程顧問公司監造工程師

專長:橋樑結構監造

石建愉先生

現職:黎明工程顧問公司結構部經理.

專長:橋樑結構設計

吳志宏先生

現職:達旺營造有限公司工地主任

專長:土木工程



大口徑 HDPE 自來水管潛鑽施工簡介

摘要

台灣地區每年發生數千次大小有感地 震,現有自來水管線容易受損。台灣自來水 公司(以下稱台水公司)2021 年委託顧問公司 辦理「高密度聚乙烯(HDPE)管線材料及設計 施工規範案」,研擬 HDPE 管材所需之材料 及施工規範、設計及施工手冊、材料單價 等,其中材料規範、施工規範及管件,已於 113 年元月正式增列為自來水管埋設施工說 明書第 34-36 篇(台水公司, 2024), 並逐步推 動證照制度,培訓 HDPE 管材現場接合作業 人力,提升 HDPE 管材在自來水工程的應用 品質。

本文簡介台水公司首次採用大口徑 800mmØHDPE 管材,利用潛鑽工法(水平導 向鑽掘工法-HDD)穿越鐵路平交道及複雜的 交叉路口(管線總長度約300m)之相關考量, 包括施工方法的選擇、潛鑽施工說明、管材 熔接及交通維持措施、不同工法成本比較。

關鍵字:大口徑 HDPE 管、潛鑽工法、鑽頭包泥、試水

一、前言

為配合國家經濟發展及都市景觀需 求,電纜及管線地下化已成為人口稠密地區 之主要配置方式。然而纜線及管線地下化之 同時,施工中尚須兼顧都市地區道路交通的 服務功能。若採用傳統明挖、回填工法,除 了衝擊都市交通外,還可能因為道路寬度不 足和既有傳埋管線密佈而不易施作。因此,

文/趙文燦,許哲嘉,張志仲,許聖富

免開挖工法(潛盾、推進及潛鑽工法)逐漸成 為都市化地區埋設纜線及管線的新選擇,其 中又以潛鑽工法整體成本最低。

台水公司為解決澎湖地區供水缺口問 題,曾於105年間由南區工程處進行「馬公 4000CMD 海水淡化取水管及送水管工程」 (陳振豐等,2019),其中取水管亦採用大口 徑 800mmØHDPE 管材。然而,該工程因取 水口位於海床中無法設置到達井,故採用單 一正向鑽進方法,克服特殊地質條件完成擴 孔後,再由拖曳船舶自海側引拉 HDPE 管至 取水口,長度約650m。

台水公司又為提升彰化及中部地區供 水量,由中區工程處推動鳥嘴潭人工湖出水 口應急管線工程,其中送水管 B-7-1 工程標 案,設計一處推進段(使用 Ø1000mm DIP-U 型管穿越地下管線箱涵,長度 204m)和一處 潛鑽段(首次使用 Ø800mm HDPE 管穿越鐵路 平交道及複雜的五叉路口,長度約300m)。

二、選擇潛鑽工法之考量

為了解沿線地質狀況,台水公司另於 109 年 7 月間委外辦理「鳥嘴潭人工湖下游 探挖及鑽探工程」,查知本路段主要地質資 料,以BH-3 鑽孔為例(位於番花路 36 號前, 約略於潛鑽段中間)分別為:0-1m 回填層、 1-4.1m 為低塑性棕灰色粉土質黏土、4.1-5.6m 疏鬆棕灰色粉土質砂土、5.6-7.8m 灰色粉土 質黏土夾砂土、7.8-10m 疏鬆至中等緊密灰色 粉土質砂土。

送水管 B-7-1 工程標案潛鑽段(以下稱本工程),施工地點位於彰化縣花壇鄉番花路及花南路上(縣道 146 甲,如圖 1 所示),推進井設於番花路 76 巷口前方,到達井設於花南路 7-11 便利商店金墩門市旁(如圖 2 所示),路線穿越鐵路平交道及番花路、花南路、金墩街、花壇街和平和街五叉路口。番花路及花南路之路寬僅約 11m(平交道最窄

處寬 6m),而番花路係通往福興鄉及鹿港鎮 重要之地區性道路,平時交通流量甚大,加 上鐵路平交道無法採用明挖工法施作,只能 採用免開挖工法,經評估地質條件加上施工 成本的考量,潛鑽工法即雀屏中選。

三、大口徑HDPE管潛鑽施工說明

潛鑽工法主要包括:導鑽、擴孔、巡孔、



圖 1 本工程潛鑽施工位置示意圖(底圖摘自國土測繪圖資服務雲)



圖 2a 推進井現場照片



圖 2b 到達井現場照片



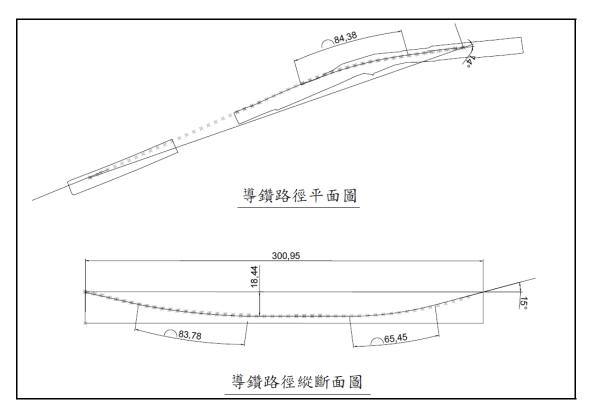


圖 3 導鑽路徑平縱斷面圖

拉管四個作業階段,台水公司針對 HDPE 管 線另要求二階段試水:拉管前及拉管後,茲 簡要說明如后。

(一)導鑽作業:本工程施作長度 300m, 經施工團隊考量施工長度及地質條 件後(許聖富及楊景超,2023),選用 之潛鑽機為康明斯 XZ1000 型,最大 鑽進拉力 100 噸,鑽桿長度每節 6m。 潛鑽作業自 113 年 12 月 6 日開始, 歷經 17.5 日於 12 月 23 日完成。原設 計潛鑽管頂最大深度為地表下 6m, 考量管徑較大目孔洞穿越鐵路平交 道,為確保台鐵列車行駛安全,施工 團隊增加鑽頭入土及出土之角度,致 最大深度為地表下 18.44m。導鑽作業 係由設於導鑽頭後方磁性環鑽桿內

部之高精度探測發射儀,將接收到的 大地磁場強度及鑽頭處遭遇之阻抗 壓力等信號,藉由鑽桿內之訊號線傳 送至地面之接收器。再由導鑽引導系 統軟體計算出鑽頭所在的位置(深 度、水平及垂直坐標、偏移量、曲度、 誤差值等)並顯示在控制室的電腦管 幕上,由控制室人員指揮導鑽機操作 手進行下一步進桿角度的調整或退 桿。本工程使用 Para Track II 導引系 統(簡稱 P2), 導鑽作業逐桿之平縱斷 面路徑如圖3所示。

(二)擴孔及巡孔作業

1.擴孔作業:完成導鑽後即刻進行擴孔作 業,使用擴孔器將孔洞擴大至設計孔徑, 同時將孔洞內不平滑之處予以壓實修直,

擴孔尺寸由 300mm、500mm、700mm 增加 至 950mm。由於孔洞路徑有低塑性棕灰色 粉土質黏土、棕灰色粉土質砂土、灰色粉 土質黏土夾砂土、疏鬆至中等緊密灰色粉 土質砂土等,擴孔作業過程中曾發生錐形 擴孔器前端包泥現象(楊偉文等,2018)。擴 孔作業自 12 月 13 日開始,至 12 月 19 日 完成,計時7日。

- 2.巡孔作業:為求後續拉管作業能夠順利進 行,施工團隊於完成擴孔後,於 12 月 20 日開始辦理巡孔作業,並於12月21日多 花一天時間以 900mm 桶式巡孔器進行巡 孔。
- (三)拉管作業:巡孔妥適後施工團隊決定於 12月22日晚上進行拉管作業,從晚上八 點開始進行交通管制,完成推管作業後 於晚間十二點半左右開始拉管,至12月 23 日凌晨四點半完成拉管,耗時約四小 時。而 HDPE 管材及鑽桿每節長度 6m, 總計50節,平均每節施拉作業耗時約4.8 分鐘,儘管鑽頭及桶式巡孔器前端仍有 包泥現象(如圖 4b 所示),拉管作業堪稱

相當順利。

(四)試水作業:契約規範規定分二階段進 行,拉管前 HDPE 管材已完成二段之 熔接,12月19日上午進行A段及B 段分別試水,7.5kgf/cm²持壓3分鐘(如 圖 5a 所示),無減壓及漏水情形。12 月 22 日晚間八點進行二段管線之熔 接作業,完成拉管後於114年1月13 日進行全線之試水作業,10kgf/cm²持 壓 1 小時(從早上 10 點到 11 點未減 壓),之後再經現場人員巡視全路段, 亦未發現有漏水現象。值得一提的 是,為確保第二階段試水之安全性, 中工處丘宗仁處長於試水前親赴現 場視察時指示增加必要之保護措 施,經工務所人員及施工團隊研商後 採取下列措施:1)、HDPE 管兩端管 口打設鋼軌椿(如圖 5b 所示), 2)、兩 端工作井置入鋼版及將外露之 HDPE 管澆置 210kgf/cm² 混凝土包覆(如圖 5b 所示),3)兩端工作井開口部份平鋪 鋼鈑覆蓋(如圖 5c 所示)。



圖 4a 開始拉管作業照片



圖 4b 完成拉管作業照片





圖 5a 拉管前試水作業照片



圖 5b 二階試水前安全措施照片一



圖 5c 二階試水前安全措施照片二



圖 5d 完成二階試水照片

四、管材熔接及工區交通維持措施

(一)HDPE 管材熔接

潛鑽施工所用的管材誦常為 PE 包覆鋼 管(天然氣及油管)、HDPE 管(電力管、自來 水管、電信管)。不論鋼管或 HDPE 管,拉管 之前必須先把管材接好(焊接或熔接),然而 受限於工區道路寬度及沿線住戶狀況,通常 無法將管線全長一次接好。本工程經施工團 隊現勘後,找出番花路上距離推進井西南方 約 360m 處,可以將 HDPE 管熔接 300m 長的 路段,但在番花路 163 號(如圖 6b 所示)前分

成A段及B段各150m分別進行接合,拉管 前並與該住戶協調好,在12月22日晚上八 點後人車均不進出,八點之後再將 A 段及 B 段接合成 300m 長。

(二)工區交通維持措施

本工程 HDPE 管 A 段及 B 段之接合作業 地點是在番花路之南側,然而推進井設於番 花路 76 巷前之北側。因此,拉管前需先將 整條 300m 長之 HDPE 管線,藉由多部台車 及三部堆高機從道路南側移至道路北側(稱 為推管作業),故於12月22日晚上十點後進

▲ 自來水會刊第44卷第1期(173)

行交通管制,以利推管作業(如圖 7a 及 7b 所示),之後再緩緩拉至推進井進行萬向接頭之 銜接安裝(如圖 8a 及 8b 所示)。由於直徑 800mm之 HDPE 管及其前端鋼製接頭具有一 定的硬度,而萬向接頭同樣具有相當的鋼性,二者之間的銜接有一定的難度,本次 HDPE 管端鋼製接頭具與萬向接頭銜接作業 歷時約30分鐘才完成。



圖 6a 分段熔接完成照片



圖 6b A 段及 B 段接合施工照片

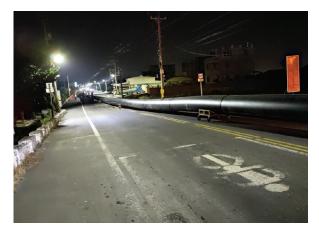


圖 7a HDPE 管線推管作業照片



圖 7b 完成管線推管及交維照片



圖 8a HDPE 管前端鋼製接頭照片

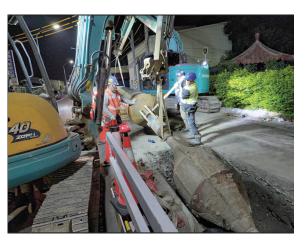


圖 8b 管頭與萬向接頭銜接照片



五、不同工法經費成本之比較

任何工程之施作均需考量經費及成 本,各工項之成本多可量化,有些施工影響 也能量化,但不計入工程成本,例如管線挖 埋造成的交通衝擊;有些施工影響則不易量 化,例如噪音、振動、空氣污染等。

本工程針對明挖工法、潛鑽工法及推進 工法進行成本及單價之比較(長度均以 300m 計算):

- (1)明挖工法:不需開設工作井,主要工項包 括:管材及開挖埋管費(含管材接合及臨時 擋土支撐)約 645 萬元、CLSM 回填及路修 費約294萬元、廢棄物處理費約6.6萬元, 合計約945.6萬元,平均每m約3.15萬元。 施工成本未計入全線開挖、回填作業,所 產生之噪音、振動、空污及交通影響之社 會成本。
- (2)潛鑽工法:開設二座工作井(推進井及到達 井),長寬深分別為 6m*2m*1.8m 及 5m*2m*1.8m,主要工項包括:管材及接合 施工費約 2390 萬元、CLSM 回填及路修費 約14.6萬元、工作井開設約12.7萬元,合 計約 2417.3 萬元,平均每 m 約 8.06 萬元。
- (3)推進工法:開設二座工作井(推進井及到達 井),長寬深分別為 10m*4m*7.4m 及 4m*4m*8.4m,主要工項包括:推進管材 (DIP)及推進中押設備費約 2773 萬元、 CLSM 回填及路修費約 93.7 萬元、工作井 開設約 61.7 萬元,合計約 2930.7 萬元,平 均每 m 約 9.77 萬元。

六、結論

因應民生需求,各管線單位面臨道路管 線挖埋頻繁及施工遭遇管障之問題,如何減 少管線施工對環境產生之衝擊,實為各界及 民眾關心之重要議題。潛鑽工法(HDD)不失 為一種安全、快速、低噪音振動、低交通影 響、低成本之管線佈設工法,國內外均已應 用數十年。台水公司自辦自來水給水工程首 次使用大口徑 HDPE 管潛鑽施工之案例,期 能有效降低地震災損、減少漏水率、提升自 來水供水品質。

參考文獻

- 1.自來水管埋設工程施工說明書,台灣自來水公 司,2024年元月版。
- 2.陳振豐等,水平導向潛鑽工法用於海水淡化廠 取排水佈管工程之實務探討,自來水研究發表 會論文集,36期,第30頁(摘要),2019年11月。
- 3.許聖富、楊景超,潛鑽工程(HDD)實務探討, 技師報, No1401, 第2-3頁, 2023年10月。
- 4.楊偉文等,長距離大口徑管道水平導向鑽掘工 程案例探討,地工技術,No158,第65-74頁, 2018年12月。

作者簡介

趙文燦先生

現職:台灣自來水公司中區工程處副處長

專長:供水調配、工程規劃設計

許哲嘉先生

現職:台灣自來水公司中區工程處第2工務所承辦

專長:自來水管線工程施工管理

張志仲先生

現職:泰晟發營造股份有限公司主任技師

專長:管線推進、潛鑽及明挖工程



許聖富先生

現職: 華勝工程顧問有限公司執業技師

專長: 道路及橋梁工程、管道及管線工程、水保工程

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、獎勵金額

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,每類別論文勾撰至多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審議通過後實施,修訂時亦同。



次世代自來水從業人員應備的數位智能-兼論數位孿生

文/邱嘉南

摘要

目前水資源管理面臨多重挑戰,包括水 資源短缺、水需求增加以及極端事件風險。 以上這些都凸顯了實施改善水循環管理解 决方案的必要性,而科技在這種情況下再次 發揮核心作用。到 2024 年,自來水事業的工 作重點將聚焦在簡化水務管理和增進能源 運用效率,這種改進與數位轉型有著緊密的 聯繫。

飲用水網路必須提高管理效率和永續 性,所以強調一系列徹底改變的突破性發 展,例如數位孿生(Digital Twin)、先進計量 基礎設施 (AMI)、地理資訊系統 (GIS) 等。 以上不論是系統或工具,都需要精通這些技 術的人員來操作及運用,所以自來水現有之 從業人員抑或將來可能聘用之人員,都需要 透過自我提昇、教育訓練、進修學習等方 式,來精通這些工具及學能。

關鍵字:水循環管理、數位轉型、數位孿生

前言

對公用事業來說,數位轉型成本一定不 會太低。轉型初期很難進行成本效益分析, 因為公用事業能獲得的效益,在一開始很難 去計算。一般常見的做法是節省人力開支、 精簡流程,組織整併,以擺脫獨立分治的情 况。公用事業是傳統的組織,多年以來可能 已經建立多種不同的資料庫。常見的是

SCADA 系統,即監督控制和資料採集 (Supervisory Control And Data Acquisition) 系 統,例如實驗室水質系統。隨著時間的推 移,他們將為不同類型的資料建立了不同的 資料庫,而這些系統下面又會發展出更多的 子資料庫。因此,許多數位轉型都圍繞著將 所有這些資料 (通常分散在整個組織中), 以便所有人存取。

最近幾十年來水資源公用事業的主要 工具之一是 SCADA 系統。因為它非常適合 用來收集水資源事業營運相關的所有類型 資料,包括有多少水進入水處理廠?不同水 質需要使用多少劑量的化學品?你要提供 怎樣品質的水給客戶?這些問題很多都有 法規的限制。許多自來水事業公司也有自己 想要監測的安全用水的附加標準。自來水公 司最後會得到一大堆資料,所以開發優良的 資料分析系統才會如此重要。此外,我們還 必須在現場實際完成這些資料的分析工 作,才能讓決策的效益最大化。例如,如果 有一個控制閥,或者一個化學劑量調節器, 當我們在邊緣進行分析時該感測器現在還 與一些資料分析相結合,因為它能帶來資訊 執行分析後就可以立即做出新的決定。這些 是數位轉型可以直正改變自來水事業應對 變動的環境條件的方式的一些方式。

目前許多自來水公司數位轉型的首要 任務,是將個人家庭配水的抄表自動化,以



便深入掌握終端用戶的使用情況,以利推動 自來水公司的整體規劃。善用從客戶收集到 的資料,並將資料轉化為行動的機會。也就 是把資料變成可以立即據以採取行動的依 據,而不僅僅是收集資料並放入資料庫。無 論這樣做是為了符合法規要求,還是僅僅因 為從業務角度來看有所幫助,都能提高營運 效能、提昇整體的效率。

可見的先進技術及其應用

(一)數位孿生(Digital Twin)

2024 年輝達公司執行長兼創辦人之一 的黃仁勳,旋風式來台宣傳,以其公司的高 效能運算與巨量資料分析技術所開發的 NVIDIA Omniverse Enterprise 平台,是一個可 擴充使用多 GPU(Graphics Processing Unit,圖 形處理器)的端對端平台,讓企業能夠根據 通用場景描述並建立自訂 3D 流程,並為工 業和科學使用案例執行大規模、符合真實物 理情況的 3D 模擬。加速生成式人工智慧 (Generative artificial intelligence, Generative AI、生成式 AI、產生式 AI) 和產業數位化 的統一架構,提供給自來水產業無縫優化淨 水及供水設施的途徑。

數位孿生,或稱為數位映射,顧名思 義,所指的即是在數位環境中,創造一個現 實世界的數位模擬,而這一模擬能夠通過感 應器與網路,將當下正在發生的狀況,完全 映射至數位環境中。數位孿生,就是一種模 擬技術,在即時反饋當下數據的能力,卻是 過往模擬技術無法達到的。而這樣的一個能 力與技術實現,主要原因就是來自於 IoT 上 的感應器,以及通過網路傳遞相關資訊的能 力。

這一技術起源於 David Gelernter(1)於 1991 年時,所撰寫的鏡像世界(Mirror World),並在書中展示了該技術應用於產品 生命週期管理(PLM)的方法與其效益。約 20 年過後, NASA 的 John Vicker(2)在 2010 年時發布的 Nasa Roadmap 提出了數位孿生 (Digital Twin) 這一詞彙,並以此代表了在 數位環境中通過感應器與網路,映射現實環 境狀況的概念。

數位孿生已連續數年被評為全球十大 科技趨勢之一。簡單來說,數位孿生是指透 過存在於虛擬世界的「雙胞胎」,來顯示現 實世界中的物體可能的反應、狀況或是效能 等。在過去五年間, Digital Twin 顯然沒有引 起非常熱烈的討論,一直到2017年時才出現 熱潮。可是比起同為十大科技的「區塊鍊」, 網路搜尋熱度就差了一大截。因為數位孿生 並非一個全新的技術,而是綜合多項科技與 領域,並針對不同產業的痛點所提出的應 用。因此在技術層面涉及較廣泛,且重視 Domain know-how 的情况之下,發展速度不 如預期快速。然而,隨著 IOT(Internet of Things,物聯網)、AI(artificial intelligence,人 工智能)、AR(Augmented Reality,擴增實 境)、VR(Virtual reality,虛擬實境)等技術 的實現,數位孿生肯定是下一波工業 4.0 發 展重點中的重點。

數位孿生通常具有一個明顯的特性:物 理模型和虛擬模型間是具有連結性的, 且這 樣的連結性是藉由即時的感知器(sensor)回 傳資料,再透過一連串的處理、分析、判斷 後,使虛擬模型能產生回饋,進而優化產品



並增加價值。因此,這其中所涉及的 Know-how 可大致分為四個流程,包含建立 虚擬模型、建立虚實感知機制(IOT、AR、VR 等)、資料分析並預測(AI)、產生策略(產品 面、商業面、執行面等)。

而現在,數位孿生技術在整個產品開發 週期,從產品 R&D、設計、生產過程、產後 追蹤等都有其應用領域,並且已然在許多高 科技產業中頻繁的應用。數位孿生在不同產 業當中都有其應用場景,像是預測性維護、 物流優化、倉儲設計優化、健康醫療服務的 流程優化、實體零售消費者的互動環境模擬 等等。

「數位孿生」這項技術目前在自來水事 業獲得廣泛關注,我們可以使用 SCADA 系 統或控制系統,並以數位的方式建立複本。 現在可以利用自己的水力模型(這類模型能 幫助您瞭解水如何通過管線、壓力和溫度及 水質對系統內部水體的影響)建立系統的數 位孿生複本,然後開始做出各種假設。您可 以變更一些條件來觀察結果,像是如果某個 區域壓力突然下降,對整個系統有什麼影 響?

在此之前,我們連規劃基礎設施升級和 改善都非常困難,因為我們必須暫時關閉系 統的一部分,才能測試這對系統的其他部分 有什麼影響。很多時候,這些決定主要是根 據過去的經驗做出的。我們會跑一些水力模 型,但這些模型通常有諸多限制。有時候我 們甚至只能祈禱不會出事,並事先擬定修復 計書。

能直接複製系統的液壓系統,然後實際 調整、變更,看看會發生什麼事,看看壓力 點在哪,故障點又在哪?確實讓許多公用事 業公司能更瞭解自己的營運系統並加以改 善。這幫助他們瞭解在更換管道或抽水機等 方面,需要將維護計畫的重點放在哪裡。

(二) 進階計量基礎設施 (Advanced Metering Infrastructure , AMI)

進階計量基礎設施 (AMI) 是智慧表、 通訊網路和資料管理系統的整合系統,可實 現公用事業公司和客戶之間的雙向通訊。 AMI 的主要目的是即時或按指定時間間隔 有效測量、收集和分析能源、水和天然氣的 使用情況。透過利用先進的通訊技術,AMI 提供詳細的消耗資料並支援廣泛的能源管 理和電網效率應用。該基礎設施提高了營運 效率,推動了節能,並透過更準確和個人化 的能源使用資訊提高了客戶參與。作為更廣 泛的智慧電網計劃的一部分,AMI 將在公共 產業部門的現代化和最佳化方面發揮關鍵 作用,為永續和節能的未來鋪平道路。AMI 的採用主要是由於對提高能源效率和最佳 化能源管理解決方案的需求不斷成長而推 動的。世界各國政府正在實施促進節能的法 規,這是引入 AMI 的主要動力。AMI 市場 面臨多項挑戰。跨不同地理位置和基礎設施 部署 AMI 系統的初始投資較高且複雜,這是 主要障礙。然而,將 AMI 與太陽能和風能 等再生能源來源整合可以促進更好的需量 反應和電網穩定性,為未來的成長鋪平道 路。此外,物聯網 (IoT) 和機器學習技術的 進步為增強 AMI 功能(例如預測性維護和負 載預測)提供了潛力,為先進儀器基礎設施 市場創造了機會。

利用 AMI 來最佳化公共事業消耗,可

降低營運成本並加強永續工作。進階計量基 礎設施的業務領域,還包括辦公大樓、零 售、飯店和醫療保健設施。AMI 系統的適應 性和擴充性對商業用戶特別有利,讓客製化 解決方案隨著業務需求的成長和發展。製造 工廠、加工設施和倉庫等工業最終用戶依靠 AMI 來精確管理大量的能源和水消費量。 AMI 的即時監控功能可協助更了解公共事 業使用模式並確定需要改進的領域。在工業 領域, AMI 透過在能源使用和減少碳足跡方 面做出更明智的決策,支持工業用戶遵守環 境法規並實現永續性目標。住宅用戶範圍從 單戶住宅到多租戶建築。先進的計量基礎設 施為這些用戶提供了所需的資訊,以提高公 共事業消耗的可見性, 更有效地管理電力、 水和天然氣的使用,並減少公用事業費用。 此外,AMI 支持再生能源來源和電動車的整 合,促進住宅環境中更永續和高效的能源生 熊系統。

(三)地理資訊系統(Geographic Information System , GIS)

是一門綜合性學科,結合地理學與地圖 學。廣泛應用在不同的領域,是用於輸入、 儲存、分析和顯示地理資料的電腦系統。技 術人員是 GIS 中最重要的組成部分,必須定 義 GIS 中被執行的各種任務,開發處理程 式。熟練的操作人員通常可以克服 GIS 軟體 功能的不足,彌補 GIS 系統的不足之處。

GIS 屬於資訊系統的一類,不同的是它 能運作和處理地理參照資料。地理參照資料 描述地球表面(包括大氣層和較淺的地表下 空間)空間要素的位置和屬性,GIS 包含兩 種地理資料成分,空間資料:與空間要素幾

何特性有關;屬性資料:提供空間要素的資 訊。一個地理資訊系統是一種具有資訊系統 空間專業形式的資料管理系統。在嚴格的意 義上,它是一個具有集中、儲存、操作、和 顯示地理參考資訊的電腦系統。例如,根據 在資料庫中的位置對資料進行辨識。

地理資訊系統技術能夠應用於科學調 查、資源管理、財產管理、發展規劃、繪圖 和路線規劃。一個 GIS 系統能使應變計劃制 定者在災害發生的情況下策畫出應變計 劃,或利用 GIS 系統來發現那些需要保護的 區域。

空間分析能力是 GIS 的主要功能,也是 GIS 與電腦製圖軟體相區別的主要特徵。空 間分析是從空間物體的空間位置、聯絡等方 面去研究空間事物,以及對空間事物做出定 量的描述。一般地講,它只回答 What (是什 麼?)、Where(在哪裡?)、How(怎麼樣?) 等問題。空間分析需要複雜的數學工具,其 中最主要的是空間統計學、圖論、拓撲學、 計算幾何等,其主要任務是對空間構成進行 描述和分析,以達到取得、描述和認知空間 資料,理解和解釋地理圖案的背景過程,空 間過程的類比和預測,以及調控地理空間上 發生的事件等目的。空間分析技術與許多學 科有關地理學、經濟學、區域科學、大氣、 地球物理、水文等專門學科為其提供知識和 機理。

從業人員應備的智能

(一)專業技能

1.數位轉型(Digital Transformation)和網路技 術應用



數位轉型是指企業從商業模式、營運流 程、顧客體驗、組織管理與文化等各個層 面,都和「數位科技」結合。透過數位工具 的輔助,減少企業的人力、時間與金錢成 本, 並提升企業內部員工的工作效率、外部 顧客服務體驗與滿意度,增加企業品牌的市 場競爭力及顧客忠誠度。而在數位轉型的過 程中,必須詳細檢視目前公司的營運狀況及 工作流程,統整規劃出一套「數位轉型計 劃」,並紀錄執行過程中遇到的各項困難點 與問題,調整數位轉型方針或數位化工具, 讓數位系統工具為人服務,幫助企業簡化工 作流程,提升工作效率。整體來說,數位轉 型是一個升級優化的過程,透過數位化的工 具導入,提升員工對於數位工具的熟悉度以 及數位轉型的認同,將原本繁瑣的步驟簡 化,讓工作效率更高。也能藉由工具收集顧 客數據,並加以分析,提供更優質的顧客服 務,讓顧客滿意度提升,對於企業形象具有 加分效果。

經由數位轉型,冀望帶來以下好處:1. 即時數據收集與分析,提升企業應變能力, 2.減少重複性工作,避免人力與時間成本浪 費,3.簡化工作流程,強化品質管理,4.提升 顧客服務品質與滿意度。而透過自動化和控 制、物聯網 (IoT)、大數據和高級分析、優 質處理和創新技術、提高效率和再生能源以 及數位孿生是 2024 年將成為變革驅動力的 一些新技術。淨水處理將利用數據作為其數 位轉型的基礎,將新技術的實施與先進處理 方法的使用相結合。不僅提高可操作性,還 可以使公用事業公司提高處理水的質量,降 低成本,並最大限度地提高客戶感知的價

值。

2.水資源綜合管理

水資源綜合管理是一種全面的綜合性 水資源管理策略,這種策略考慮了影響水循 環的水管理的所有面向,其中包括:管理和 保護我們的河川和海洋的健康,控制現有和 未來洪災和乾旱的風險,排放廢水的處理, 平均降雨量減少和對傳統供水的影響,雨水 的管理和處理。由於人口增長、氣候變異、 洪災和乾旱風險增加等各種威脅,水資源管 理面臨著越來越大的壓力。水資源綜合管理 策略將提供積極主動的方式來應對新出現 的風險, 它將有助我們確保未來擁有可以 承受困境壓力,確保適合生活和可持續的水 資源,故水資源綜合管理需要所有與水循環 有關的機構通力合作。

水資源綜合管理策略將制定水資源管 理的策略方向,以支持和提高社會、環境以 及經濟效益。此策略將檢視我們的水資源管 理狀況,並界定我們未來的理想和目標。在 規劃和提供服務及指導發展時,透過考慮整 個水循環,我們可以建立更多重視保護水資 源且有防災應變能力的社區,持續地管理有 價值的公共空間和街景,通過適當使用合適 的替代水源,來減少對飲用水供應的需求。 透過更好地利用替代水源來提高我們抵禦 未來乾旱和洪災的能力,提供安全、可靠、 負擔得起和適合用途的供水,抵消城市化帶 來的影響,更好地保護我們的河川並增加生 物多樣性,補充制定市政府其他與氣候相關 的策略。2024年,數位轉型將成為應對水資 源綜合管理挑戰的重要工具。分析數據、識 別趨勢以及應用大數據、機器學習和人工智



慧(AI)等技術是水管理新時代的關鍵要 素。而實現彈性、永續的水管理還需要不斷 部署創新技術、國際合作以及涵蓋從預防到 快速反應策略等各個方面的整體方法。

(二)心智能力

1.適應力

學術界與顧問業都將適應力 (Adaptability)列為現今關鍵的軟實力。隨 著疫情衍生許多新的工作模式與業務形 式,適應力的定義也從傳統的「守」轉為 「攻」。「當期望或規範產生了不協調的變化 時,適應力就成為一項基本技能」。工作者 們傾向認為自己知道某事的正確做法,多年 以來也一直這樣執行,但這可能是一種「保 護心態」。擁有成長型思維的人相信他們的 能力會隨時間而改變,而採用固定型思維的 人,則認為他們是有天賦——所以遇到太難 的事,就會傾向放棄。時常聆聽別人對自己 工作表現評價的人,會有更強的心理素質面 對變動;反之,長期處於安逸自滿的狀態, 便難以在局勢改變時迅速反應。

現在的工作者們必須要非常迅速地調 查、研究新領域,以了解新情況;也需要願 意並能夠調整自己的心態和行為,才能有效 地參與新的現實。要真正適應變化,需要積 極為變革做準備,甚至『提倡變革』。能留 在原地的韌性是很重要,但它不會推動人們 前進,而專家們針對疫情後的這波「適應力」 研究,更關注的是「向前跨一步」,意味著 工作者已經超越了單純忍受,而去挑戰一些 未知。適應力強的組織通常不會列出「如果 產業受到特定危機或干擾,該怎麼辦?」相 反地,他們會積極推動公司發展,不斷提出

新的改革計劃。

適應力是永續性的關鍵,因為適應力代 表了應對風險的能力。我們無法為即將發生 的每一種風險制定計畫,但可以開發出透過 彈性的系統管理風險的方法。如果能在現場 佈署感測器和資料分析系統,我們就可以預 測由極端降雨引起的洪水事件。而只要可以 預測這些事件,我們就可以製定緩解和適應 戰略,以防止事情演變成災難或危機。

2.成為多方涉略的「T型人才」(T-shaped talent)

「T型人才」指的是不只要是單一領域 的專家,對於其他領域也至少得略知一二。 T 字的縱軸代表在單一領域的技能和專業知 識的深度,也能說是硬實力;橫軸則是與跨 域的專家合作,將知識用於其他的廣度,算 是軟實力。T型人才擁有「初學者的心態」, 擺脫既定的思考框架和偏見,以柔軟的態度 發揮創意,也可以嘗試一針見血指出問題。 抱著初學者心態的人不會墨守陳規,如此才 能發揮超乎常識的想像力。持續提升自己的 資歷,不侷限在業界狹隘的思維裡,會以更 寬廣的視野來思考自己的技能如何發揮。 為什麼產業急需 T 型人才?

(1)社會急速變遷

近十年來,社會發展漸趨數碼化,人們 的知識已追趕不上科技的發展,不論在生活 上還是工作上,人類面對的問題已不再單 一,而要完成一項任務,需要跨越數個知識 與理論的領域。以往一種技能,一項專業, 可能 50 年不變,但現時卻相反。除了新興 行業理所當然地變幻莫測,連傳統行業也是 不時出現變革,技術和知識不斷刷新。縱向



的「I」需要深化,橫向的「一」需要擴闊, 才能追上社會的急速變遷。例如近年很多人 做的牛物科技,除了牛物知識,你更需要懂 得醫療、機械、技術操作,才能駕馭新興的 產業;又如傳統的市場推廣漸漸飽和, Marketer 紛紛要學 Digital Marketing,你不懂 SEO、SEM、online ads、social media 等的運 用,難以獲得工作機會。

尤其各行各業均從線下走向線上,你必 須擁有多元知識,才能跟上時代的步伐。鑽 石出口因疫情無法出國參展,轉為本地零 售,與 KOL 合作,以直播吸引客人。紅酒 批發因疫情失去大批客源,轉為本地零售, 發展資訊平台,以另類方法吸引高質客人…… 傳統的銷售人員,需要學職新知識,才能在 新模式中發光發熱。還想以一技之長走天 涯?放眼四周,便知沒有可能!

(2)為公司開源節流

T型人才能夠為公司省卻很多資源和時 間。特別是中小企,人手不及大公司,若公 司團隊中有一個人可當多人使用,絕對會減 省很多金錢,達致最多的經濟效益。從打工 仔的角度,你擁有愈多技能,你可以參與的 項目愈多,別人對你的需求就愈大,你的地 位亦較難被人取代。試想像,如果你是老 闆,你會花三萬元請一個人回來只做繪圖, 還是以同樣價錢請一個能助你解決幾個範 疇的問題的「T型」人?同樣道理也適用於 栽員。

(3)擁有無可取替的創造性

T型人才最可貴的地方是靈活性和創造 性。根據世界經濟論壇(World Economic Forum)的報告指出,預計在2025年機械人 或機器可取代人類超過一半的工作。科技的 確比人類進步得更快,若你只是擁有單一技 能,難保會被機械取代。但有些技能始終是 無法取代的,就是軟實力。T型人才擁有強 大的溝通能力,因為智識層面廣泛,所以能 做各個部門的溝通橋樑,在團隊中擔任領導 者的角色。而且他除了擁有各種通用才能, 在專業知識上也具有較深的理解能力和獨 到見解,工作時能夠能將這些技能交叉運 用,創造更多可能性。相比只有單一的知 識,T型人才的想像力和創造力,不單是機 器無法取代,其獨特性更是他人無法取代。 3.高 EI

情緒智力 (emotional intelligence, EI) 指 的是一種評估、運用與管理情緒性訊息的能 力,其亦俗稱為情緒商數 (emotional quotient, EO), EO 該詞雖相較於 EI 為人所知, 然實 際上EI是一個較為廣義的概念。有關情緒智 力的相關研究在學術界開始備受重視係歸 功於 Salovey 與 Mayer(1990)[3] 等學者的相關 研究,他們最初將其定義為一種能察覺並分 辨自身與他人情緒的能力,且能進一步的使 用情緒資訊去引導自身思考並採取對應之 行動。而後他們重新對情緒智力定義為一種 能正確地感知、獲得及表達情緒的能力。

近年來,情緒智力(EI, Emotional Intelligence)逐漸成為重要的工作技能,有 時甚至超越了技術能力。一般認為情緒智力 是一種保持自我控制、熱誠和堅持且能自我 激勵的能力,其中包含五種層面的能力:認 清自己的情緒、管理情緒、激勵自己、認清 他人的情緒以及處理人際關係等能力。

情緒智力的重要性表現在工作的各個



層面,具備良好的情緒智力除了能避免個人 因挫折喪失自信心,更能協助確立自我價值 定位,採取為自己表現負責的行為模式,同 時樂於接受工作上的創新觀念,以及兼具處 理各種工作變遷彈性的良好適應力,並且在 成就驅力的引導下,主動追求優異的工作表 現,以達工作上自我實現的成就感。

由於情緒智力可以經由後天訓練加以 改善,因此像是機長、客服人員等必須具有 高 EQ 之工作者,大多受過 EQ 相關之訓 練。如提供正念課程,提升對情緒的察覺能 力,使其在高壓的業務環境中,將關注的焦 點,聚焦在當下的人事物,盡可能不讓情緒 影響工作的判斷,培養不受外在干擾及接納 的能力。企業在遇到突發事件衝擊時,亦可 提供小團體諮商,邀請講師協助員工分享對 於該次衝擊的感受,並教導如何以簡單的呼 吸治療與放鬆治療等方法,使其能紓解情緒 上帶來之壓力,讓員工了解情緒管理之重要 性。

結語

自來水事業一直都面臨著諸多風險,而 這些風險主要來自對安全、高品質飲用水的 公共衛生要求。現在更遭遇氣候變遷、經濟 大幅度波動、用水模式變化,以及日益嚴重 的水質問題,這些類型的問題都帶來了額外 的挑戰。客戶的問題意識也逐漸提升,想要 更加了解供水系統,希望公用事業提高透明 度,因此自來水事業必須設法更快速地應對 日常營運面臨的各種危機與風險。

大部分的供水基礎設施都是埋在地底 下的管線,所以可能容易被忽略。另外自來 水事業維運的最大的挑戰,是法規的大環 境。自來水事業在很大程度上受法規的引 導,包括水質測試、水質監測、供水系統監 測等,幾乎都是由監管要求所帶動的。立法 機構在導入適應性決策、適應性管理、預測 分析、情景規劃等創新方法上,動作非常緩 慢,而這些工具都是數位轉型後的資料分析 能為我們提供的。很多時候,等到我們收集 到足夠的資料、說服立法人員我們遇到問題 時,公用事業解決這個問題的成本早就已經 變得非常高昂。

然而,如果我們有更多的能力透過更多 的資料分析和進入系統的資料資訊,來預測 分析或情境規劃,那麼至少公用事業可以調 整管理策略,避免或盡量减少負面影響。

參考文獻

- 1.Gelernter, David. Mirror Worlds: Or: The Day Software Puts the Universe in a Shoebox...How It Will Happen and What It Will Mean. Oxford University Press, 1991
- 2. Vickers, J., Piascik, R., Lowry, D., Scotti, S., Stewart, J., & Calomino, A. Technology area 12: Materials, structures, mechanical systems, and manufacturing road map. NASA Office of Chief Technologist., 2010
- 3. Salovey, P., & Mayer, J. D. Emotional intelligence. Imagination, Cognition and Personality, 9(3), 185-211. 1990

作者簡介

邱嘉南先生

現職:臺北自來水事業處淨水科 專長:供水、防災、資訊處理



自來水國際研討會之 GenAI 學習方法論 一如何快速建立國外論文的導讀與應用

文/時佳麟、張瑛興

摘要

生成式人工智慧 (Generative AI,簡稱 GenAI) 相關工具在工作上的運用已是近年 發展趨勢, 本研究在討論自來水從業人員參 與國際研討會後,在面對語言障礙、資訊量 龐大以及即時處理需求時, GenAI 提供高效 且精準的解決方案,有效輔助快速瞭解國外 論文並提升學習效率。

研究聚焦於:論文檔案導讀解析、簡報 照片生成重點內容提要、演講錄音生成文字 稿與摘要三大應用場景。採用案例分析方 式,針對三種情境說明作業流程(SOP)的訂 定,並選用數個 AI 工具進行測試與比較, 評估其在內容準確性及使用便利性上的表 現。本研究發現,GenAI 能顯著降低專業資 料解讀的門檻,促進跨語言的學術交流。但 也存在重點解讀專業不一致等問題,在應用 時也要特別注意是 AI 輔助而不是取代個人 意見。

關鍵字:自來水、國際研討會、自來水事業、GenAI、生成式 AI、 ChatGPT、NotebookLM、Whisper、開源模型

一、緒論

自來水研究的領域涵蓋水源保護、智慧 化供水管理、水質監測技術、客戶管理與能 源效率等多個面向。例如,歐美國家目前正 廣泛應用物聯網技術(IoT)和人工智慧(AI) 於自來水管網管理,以能提升供水系統的運

作效率與面對危機時的應對能力;亞洲地區 則重視可持續用水政策與水資源再生技術 的研究與實踐。這些研究與技術應用,為全 球自來水系統的未來發展提供有力後盾。

臺灣的自來水事業,包括台灣自來水公 司及臺北自來水事業處(以下簡稱北水處), 每年均編列經費,派員參與國外自來水國際 研討會與業界技術交流,不僅能讓從業人員 接觸到創新技術與案例,也希望從與國外交 流接觸後幫助提升解決實務問題的能力。

國際研討會資訊量龐大,通常包含多場 平行會議與多樣化的專題報告,以 2024 年在 日本神戶舉辦的日本水道展及日本水協會 研討會,北水處出國人員帶回 472 篇日文論 文與拍照演講資料,內容涵蓋事業管理,淨 水、水質與管網技術與案例。由於出國人員 無法在有限的時間內全面瞭解,僅能篩選對 自身工作最相關的內容。以自身經驗與觀點 提出見解,並分享原文論文供同仁參考。

隨著生成式 AI 的快速發展,技術工具 的創新為上述挑戰提供了可行的解決方 案,在解決語言障礙、應對資訊量龐大以及 提升即時資訊處理能力上展現了極大的潛 力,為參與國際交流提供了全新的方法與工 具支持。

二、研究目的與方法

本研究目的主要在探討生成式 AI 如何



輔助自來水人員快速瞭解國際研究論文內 容,使用案例研究法,聚焦於3個方法內容:

(一)探討 GenAI 提高處理論文效率的工具:

哪些生成式 AI 工具可經由語義分析、 摘要生成等功能,更快掌握研究論文的核心 內容。但是 AI 生成的資訊摘要是否具備足 夠的準確性與專業性,能滿足從業人員的實 務需求?本研究將通過案例分析,驗證生成 式AI在提高學習效率方面的可行性。

(二)研討不同資料之 GenAI 處理方法:

- 1.論文檔案:國際研討會提供論文檔案時, 利用生成式 AI 進行快速導讀,掌握核心內 容與關鍵見解。
- 2. 簡報拍照:國際研討會可拍照場合,利用 生成式 AI 工具分析照片中的資料並生成 重點摘要,避免手動記錄的繁瑣。
- 3.演講錄音:國際研討會可錄音場合,經由 錄音並運用 AI 工具轉換為文字檔及摘 要,提升現場資訊捕捉的效率。

(三)製作國外論文導讀之方法與程序:

透過這些應用場景,本研究將探索生成 式 AI 在專業技術領域應用的實務價值,當 出國人員回國後,能經由製作國外論文導讀 之方法與程序,產生國外研討會論文之中文 導讀內容,提供國內從業人員快速瞭解國際 研討會發展趨勢,進而擴大研討與應用。

三、GenAI是如何提高處理論文效率

(一)技術原理

1.自然語言處理(NLP),基於大型語言模型 (如 GPT) GenAI 可以理解與生成語言, 應用於文本摘要、語言翻譯、內容創作等。

- 2.生成對抗網絡(GAN)用於圖像生成與增 強,例如合成真實圖像或改善影像的品質。
- 3.多模態學習,通過整合文本、圖像與音頻 數據, GenAI 可以實現跨模態數據處理, 如從圖片生成文本,或從語音生成文字。

(二)在提升學習效率優勢與限制

生成式 AI 作為一項突破性技術,在自 來水研究領域的國際會議中展現出顯著應 用潛力。在優勢方面能即時翻譯克服語言障 礙,快速自動生成摘要,提升資訊吸收能 力。也具有多模態數據處理能力,整合錄 音、圖像與文字等多種數據形式,完成全面 會議記錄與分析。更藉由 APP 的使用提供即 時內容處理服務,幫助快速捕捉重點資訊。

在限制方面,處理高專業性技術、特定 的行業背景或演講者的隱含意圖時,可能出 現錯誤、忽略重要的細微差異或不準確的解 釋。另外使用者必須考量 AI 是輔助工具的 特性,不可產生依賴性,過度依賴可能導致 人員在思考技術內容上的不足,特別是當無 法使用 AI 工具的情境下,會出現工作瓶頸。 最後,特別需重視數據隱私與安全風險,處 理會議錄音或照片等數據,要確保數據隱私 是生成式 AI 應用中的重要挑戰。

相對於出國參與研討會的個人應對方 式,本文更聚焦在人員回國提供國外研討會 資料後,如何利用 GenAI 製作國外論文導讀 之方法與程序,在三個情境下選用合適的 AI 工具,讓取得的論文資料,能快速地讓相 關人員吸收及瞭解趨勢,進而探討融入運用 在作業流程,才能發揮出國學習最大效益。



四、GenAI在3種場景的運用方式

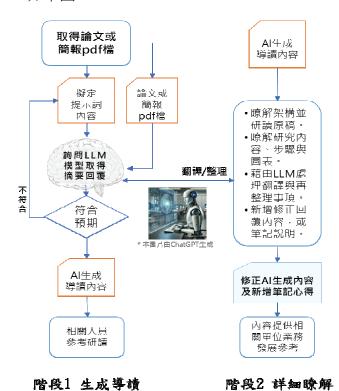
本研究採用的三個應用場景與使用的 技術工具,包括了自來水人員參與國際研討 會中可能取得相關論文內容的典型情境,主 要是驗證生成式 AI 提高學習效率與內容理 解的能力,與產生效益與價值。經由二個實 際案例實做,分析不同 GenAI 工具產生結 果,本研究能有效探索生成式 AI 實務應用 潛力, 並為自來水從業人員提供具體的方法 建議。

為評估生成式 AI 在自來水從業人員學習與 工作中的應用價值,本研究採用了二個具體 案例,說明國際研討會中運用情境,包括論 文導讀、簡報拍照及演講錄音處理。相關作 業方式說明如下:

(一)由論文檔案導讀解析

- 1.背景:從業人員通常會在參與國際研討會 或會議後,有時會取得多篇論文全文或摘 要,需篩選與理解相關內容重點,以便瞭 解並撰寫出國報告,或能提供自來水事業 內部人員相關參考及建議。但由於個人專 業領域限制,無法全面詳細說明研討會內 容及提供建議。蒐集的原文資料有時也未 能有效發揮即時的價值。
- 2. 場景: 本研究以 2024 年 10 月在神戶舉行 的日本全國水道協會研討會的 1 篇自來水 日文論文為討論內容,利用 AI 工具生成每 篇論文的摘要與關鍵內容進行導讀。
- 3.作業方法:分為二個階段,如圖1所示
- (1)第一階段:生成導讀內容。
- A.取得論文:取得 2024 年日本全國水道協會 研討會論文集,分11部門(大項)共有407

篇論文。選擇在第二計畫部門項下的第 9 篇論文,名稱為「(2-9)管網の再構築に よる管路の更新需要の削減」。部份内容 如下圖2。



運用 AI 研讀論文二階段作業流程

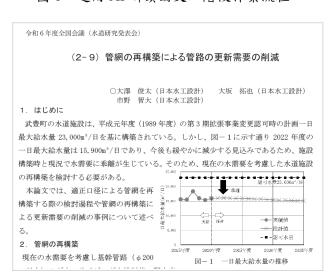


圖 2 論文 2-9 內容摘錄

B.擬定提示詞(prompt)內容:提示詞(prompt) 初次內容只有:「這是一篇 2024 年日本水

道協會自來水研究論文,請整理相關重點 摘要」,但是作者想找出日本在數位轉型 與人工智慧(AI)的運用內容,所以產出結 果並不如預期,經過增加詢問論文基本資 料與數位轉型有關內容,多次修正段修訂 版如圖 2。

C.選擇 AI 工具與生成導讀內容:

在 GenAI 工具方面,本次使用 ChatGPT 及 NotebookLM 二種 GenAI 工具,分別說明 如下:

由上傳的研討會論文·請以繁體中文·說明以下事項 - 研討會名稱、舉辦日期。 - 論文的使用原文題目名稱(及繁體中文名稱)。 - 研究單位及作者。 - 研究領域是那一方面。 - 主要解決問題是什麼? - 使用資料有那些? - 資料儲存在那(地端、雲端) - 研究的困難點及解決方式 - 研究使用的方法及技術內容。 - 有沒有流程改善的內容 - 有沒有導入那些數位工具 - 如果有導入AI·使用了那個AI模型·有沒有評估算力·算力需 求是什麼。 - 研究結論有那些 - 是否有對於該研究未來的應用及展望。 - 整篇論文重點摘要 - 對本篇論文內容·說明建議標籤(Tag)·呈現方式以橫向表示· 如 #taq1、#taq2 ...

圖 2 與數位轉型有關論文導讀提示詞

• ChatGPT plus MyGPT 工具:

作者有付費訂閱 OpenAI ChatGPT Plus 方案, Plus 與免費版的差異, 在於免費版可 上傳的檔案數量每日僅有4個,作者以此次 論文處理需求,先建立個人 GPT(MyGPT)工 具,命名為「論文數位轉型內容初判小助 手,依 ChatGPT 4o 版本可以上傳文本文 件、電子表格、文稿和常見檔案格式、包括 論文常用的 pdf 檔案,但在該 GPT 的生命週 期內最多只有20個檔案。再如圖3所示,在 「指令」的位置,將提示詞(圖 2 內容)輸入 工具中。

實際應用時,工具運作畫面如圖 3,直 接上傳檔案或提供論文內容, ChatGPT 小助 手會在瞭解論文檔案內容後,依提示詞的指 引架構,如圖 4,整理生成論文摘要與分析 相關內容。



圖 3 建立 MyGPT 工具產生導讀內容



圖 4 ChatGPT 生成的論文導讀內容



• Google NotebookLM 工具:

Google 的 NotebookLM 也是作者常使用 工具,除了網頁版也有手機版的 APP 可以使 用,目前如 Google 大部份的產品可免費使 用。如圖 5 上方所示, 先建立一個筆記本, 依研究作業需要,將筆記本命名為「2024神 戶日本水協會研討會論文」,可將該研討會 論文檔案、圖片或文字資料集中存在這個筆 記本內。也會依據筆記本檔案內容,自動建 立筆記本摘要, 簡要說明來源檔案的資料(圖 5 中間上方)。



圖 5 NotebookLM 工具使用的方式

其次,提示詞是 GenAI 的重點,在 NotebookLM 每次都需要輸入 Prompt 內容, 為能讓同類型問題提示詞內容一致,也減少 重覆打字的偏差錯誤,作者建立一個名為 Prompt 的記事。每次使用時可以直接複製提 示詞內容,並貼在如圖 5 中間下方 Prompt 的輸入位置。

另外,如圖 5 左側在上傳檔案後, NotebookLM 的 AI 工具 Gemini,會依據上傳 內容, 進行來源導覽分析, 點選該檔案後即 可直接檢視,如下圖6所示,除了將來源檔 案 2-09 日文内容呈現下方外,並且在上方左 側自動生成中文摘要,也在上方右側建立重 要主題。



圖 6 NotebookLM 將上傳檔案自動摘要

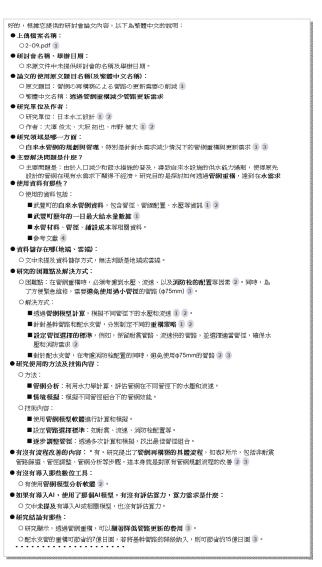


圖 7 NotebookLM 生成論文導讀部份內容

最後,為了要生成 2-09 的檔案導讀,必 須先將其他檔案取消勾選,再打勾選擇來源 為 2-09.pdf,也就是前面圖 2 所說「(2-9)管 網の再構築による管路の更新需要の削減」 論文檔案。在點選下方三角型箭頭執行 LLM 生成指令後,免費版本的 NotebookLM 即以 Google 內建的大語言模型 Gemini, 依據提示 詞的架構,生成相關的內容,如圖7所示。 成果比較:

比較圖 4 與圖 7, GhatGPT 與 Gemini 二 個工具產生的導讀內容,生成結果各有所 長,在第一階段還是有以下3點不同:

•第1點:ChatGPT 有讀到檔案的小標題: 在研討會名稱及舉辦日期項下, ChatGPT 說明「研討會名稱:令和6年度全 國會議(水道研究發表會),舉辦日期:文 件未提供具體日期,推測為令和 6 年度 內。」,但是在 NotebookLM 的說明是「研討 會名稱、舉辦日期:來源文件中未提供研討 會的名稱及舉辦日期。經檢視圖2,發現左 上角有「令和6年度全国会議(水道研究発 表会)」與會議名稱日期相關說明,這一項 目 ChatGPT 正確瞭解研討會的名稱資訊並說 明,表現比較好。

・第2點:NotebookLM 有內容出處參考:

如圖 6 所示, NotebookLM 在每個回覆內 容後都有①、②、③、④…等小標示,如下 圖 8 所示,線上使用時將滑鼠游標移到③ 時,左上方可呈現文件的參考段落,當對於 內容有疑問題時可查閱相關來源,這是 NotebookLM 在生成內容方面,提供比較清晰 的參考標示。



圖 8 NotebookLM 有內容出處參考

• 第 3 點: NotebookLM 以筆記本儲存問題:

在 ChatGPT 的使用者介面,是以條列方 式儲存問題與生成結果,可修改提問標題也 可查詢過去的成果,但在分類及尋找時並不 容易。NotebookLM 則是以筆記本型式儲存使 用者的提問內容(如圖9,上方畫面),使用者 可依照自己的需求分類記事本,將問題分類 儲存。



NotebookLM 筆記本與記事

另外,在圖9下方區塊,顯示 NotebookLM 還可以將生成結果儲存為「記 事」,也可將記事儲存為資料來源。對於同



一個記事本的不同來源可以一併整理,在整 理相似論文及重覆參考時,更是非常實用的 功能,例如:將數篇有關 DMA 小區管理的 論文放在同一筆記本下,請 AI 整理說明有 關 DMA 的管理事項,在 NotebookLM 是非常 方便的。

(2)第二階段:詳細瞭解論文內容 A.瞭解原稿架構、內容及相關圖表:

不論是 ChatGPT 或 NotebookLM 第一階 段生成的導讀內容,讓我們瞭解「(2-9)管 網の再構築による管路の更新需要の削減」 這篇論文主要是主要是因為人口減少,解決 日本武豊町水道設施因用水需求降低所導 致的能力過剩問題,透過管網再構築以降低 更新成本。在流程改善方面研究制定了配水 支管的再構築手順,透過七個步驟逐步調整 管網設計,以達到最佳效益。但因為大語言 模型(LLM)僅能以文字方式呈現生成摘要結 果。所以,若要進一步瞭解論文內容,建議 可從圖表開始,瞭解呈現的內容及所要表達 的意義。以「(2-9)管網の再構築による管 路の更新需要の削減 | 為例,共有2個表(表 1、2)與 3 個圖(圖 1、2、3),利用 GenAI 工 具進行日文翻譯,並仔細研讀瞭解內容。 B.生成進一步成果、摘要及見解:

經進一步研讀,發現原導讀遺漏下面 3 點,必須重新整理納入導讀的內容:

第1點,論文重要的管線重構步驟手法, 是先處理口徑 200mm 以上管線縮管,再考量 口徑 150mm 以下的管徑調整,如圖 10 所示, ChatGPT 4o 及 NotebookLM Gemini 在生成的 導讀內容中,都沒提及再構築的重要步驟。

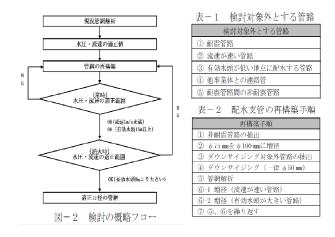
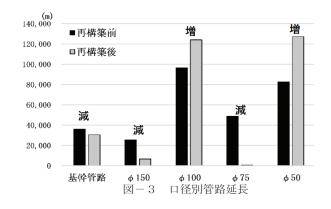


圖 10 [基幹管路]與[配水支管]二階段檢討

- •第2點,論文說明武豊町管網更新(再構築) 政策中,與北水處相同已不採用口徑 75mm 管線,設計以 50mm 與 100mm 取代, ChatGPT 在生成導讀中未說明這個武豊町政策,但在 NotebookLM 的生成導讀中有明確說明。
- 第3點,在研究結論方面,兩個工具都提 及預計節省更新成本約 15 億日圓。但在論 文中是如第2點分兩階段預估,在對配水支 管進行再構築預計可節省約7億日元的更新 費用,若將基幹管路的縮小管徑一併納入, 則可節省15億日圓。如圖11所示。



更新費用の削減効果 表一 3 基幹管路 配水支管 配水管網 再構築前 約58億円 約156億円 約214億円 再構築後 約50億円 約149億円 約199億円 削減効果 約8億円 約7億円 約15億円

圖 11 [基幹管路]與[配水支管]費用分析

C.提供相關單位業務發展參考運用:

經二階段的整理內容,配合原有論文, 可以分享給業務相關單位參考運用,讓業務 相關單位同仁,能快速瞭解國外研究發展的 事項與內容,有助於取回的國外論文運用。

(二)簡報照片及演講錄音生成文字摘要

當無法取得論文時,利用簡報照片及演 講錄音生成文字稿與摘要的二種應用場 景,常是相互参考處理,一併於本節討論。 1.背景:有時會議現場並未提供論文檔案, 參與人員需即時記錄演講內容,傳統方式 是以手寫筆記或打字,或在大會未禁止情 形下進行拍照及錄音。但是整理錄音與拍 照內容是非常耗時的事。如何有效運用 AI 工具整理錄音與拍照,在沒有論文檔案情

形下也能瞭解重點,是接下來討論事項。

- 2.場景:以作者參加臺灣水務產業發展協會 2024 年 12 月 3 日在臺北舉行的荷蘭 Delft-IHE 訪問團與專家學者技術交流論 壇,荷蘭 Ferr-Tech 公司執行長 Richard Bruins 現場發表簡報「YOUR WATER ECOSYSTEM GREEN AND CIRCULAR? Purify your wastewater with FerSol 」為場景, 說明錄音及拍照生成文字檔與摘要的方 式。
- 3.作業方式:分為三個階段,如圖 12 所示三 階段流程圖。
- (1)第一階段:處理照片生成拍照導讀。

A.裁切照片只保留簡報書面:

為增加 AI 牛成辨識率,建議選擇高解 晰度拍照,儘量只拍簡報畫面,或者拍完後 覺得太遠,若擔心影響辨識成果,可再使用 手機工具,裁切照片範圍僅保留簡報畫面即

可。如下圖 13 所示。

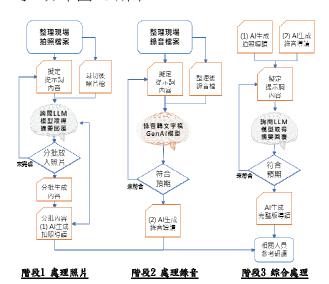


圖 12 三階段處理錄音拍照生成導讀內容





圖 13 裁切照片只保留簡報畫面

B. 擬定提示詞內容:

與上傳檔案相同,為能控制回覆內容, 增加流程概念,在 ChatGPT 的 MyGPT 建立



「演講整理簡報小秘書」,在提示詞(Prompt) 做了一些調整,請 AI 秘書依照指定步驟處 理,如圖14所示。

請依下列步驟處理 01.任務內容及過程:你是一個由簡報(照片或者Pdf檔案)幫助聽眾瞭解研討會 1. 仕房內容及煙程:你是一個田間報(照戶或者PCIT檔案)幫即應眾聽解析訂督 請著的演講內容、使用者會分批上傳簡報拍照內容、請每次接受到照戶後、 即分析整理簡報內容、給予分批編號、同時詢問是否完成、當使用者說明 「已完成」或「最後一批」或「請分析整理為摘要」等指示後、即依數批整理內容、依指定格式說明演講重點。 02.等待使用者動作:請依以下步驟·逐步完成: 03.使用者上傳上傳照片或pdf簡報檔案:當使用者上傳照片或pdf簡報檔案後· 04.小秘書開始分析照片或pdf簡報檔案 05.依序選一張照片或或pdf簡報檔案中第一頁: O5.於戶國一派所用或或DUI同報循系中等一員。 66.將每頁依序編號:請依每項順序,將簡報編號,如果是第2批以後,編號必 須接序前批最後一張簡報編號,就明批次及照片數量編號,例如:這是第2 須接序所批閱後一張簡報編號、就明批次及照片數圖編號。例如:這定第2 批照片,共有4張照片、編號5至8...等 07.檢視標題:先說明每項編號、再檢視標題。如果簡報有標題、則必需說明標 題內容、如果不是繁體中文、需再以括號、於括號內說明繁體中文內容。例 如:標題是「This is an apple、(這是一顆蘋果)」 08.說明簡報版面配置 例如:簡報中左侧有1張圖表、標題與圖號是:圖3. 2024年台灣自來水需水量趨勢圖、右侧有一段說明文字。 09.檢視簡報內容:請檢視簡報內容、包括文字及圖面、是否有佔版面較大的相 圖數4466...圖書畫對80日文章,沒面圖卷450日號對、加爾空轉般的內容,簡單256節 關數據、圖表或說明文字、或有圖面特別標註、加粗字體的內容、瞭解該簡 報說明重點。這一部份將呈現於下一步驟 10.條列式回覆重點內容 (1)以條列式說明簡報內容 · (2)主题包括:主要展現內容、強調重點,並應特別加強關鍵數據的說明。 (3)對於簡報中有特別的標註(字型放大的文字或圖型)請一併納入摘要說明。 (4)每張簡報至少能呈現3-5條重點。 11.這批最後一張:確認是否為這批上傳最後一張照片或pdf簡報檔案,進行第 12步驟 12.提供使用者步驟指引:在回覆內容最後‧附上【對使用者指引說明】‧其中 刮號【】內數量請依實際數量填入。 ------對使用者指引說明 ----第〇批分析完成・共〇張照片(或〇份簡報共〇頁)。 共〇批、〇頁簡報。因為ChatGPT有每次對話上傳 照片檔案限制,照片總數在20張以內 最多不要超過24張(測試結果) 否則會造成服務中斷 若簡報未完成・請持續上傳照 • 若已完成要整理演講內容 輸入 zxc 或 已完成 ------指引結束--另外加一行,說明回覆時的【日期】及【現在時間】、使用者作樂系統。 13.回第2步驟·等待使用者動作:等待使用者傳送下批照片或確認結束。 14.使用者確認結束:當收到使用者「zxc」或有「已完成」指令時‧開始整理 全份瀋瀟內容。 15.依設定格式整理回覆;輸出內容結構如下; (1) 首先說明接收到簡報的張數。 (2) 說明各頁簡報主要內容摘要 (3) 分析整理整份演講內容,以200-300字說明講者想要表達核心內容。 (4) 重新整理論述·並加強關鍵數據說明 (5) 再以條列式整理5至8項演講重點·包括: 簡報主要呈現的觀點與內容 - 在簡報中特別的標註,特別強調重點。 - 簡報中的關鍵數據必須列人。 - 講者特別標註金句 其他重點。 16.詢問是否有修正意見:配合使用者修正修正摘要內容。 17.說明限制建議結束對話:說明【因為ChatGPT有每次對話上傳照片限制· 建議若有新的簡報整理需要·請另開新對話處理·】 18.所有內容都是以繁體中文回覆。

圖 14 第一階段分批照片提示詞(prompt)

C.分批處理照片:

由於 LLM 工具限制一次處理大批圖 片,需分批上傳圖片生成回覆內容;也可將 圖面彙整成 1 個 pdf 檔上傳,再依頁次分批 詢問 LLM 生成回覆內容,操作方式如圖 2, 在提示詞的前面加入類似:「這是一份簡報 檔案,請針對第1頁至第6頁依下列指示步

驟辦理」,那可分批詢問生成內容。 D.分批內容生成拍照導讀:

此次演講簡報共有 16 張,拍完照以 ChatGPT 手機 APP 上傳限制為 4 張,分 4 次 輸入完畢,產生分批的結果,最後再依提示 詞設定文字 ZXC(選取鍵盤左下方由左至右 連續 3 個字母)進行最後整理,如圖 15 所示 的摘要書面。

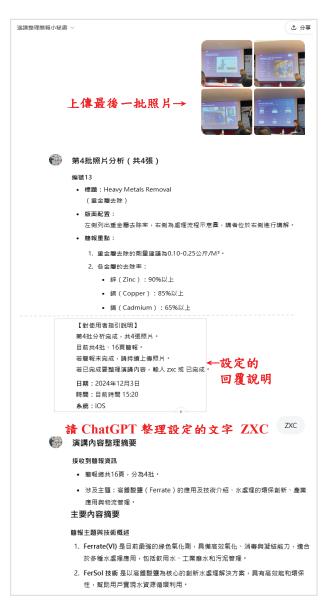


圖 15 分批處理照片並生成拍照導讀內容

(2)第二階段:處理錄音生成錄音導讀。 A.整理錄音檔案

若講者音量過小,可以利用影片或聲音 工具,例如開源免費的影片工具 Shotcut,可 將音量調高去除低頻噪音;但若有環境噪音 干擾嚴重時,可使用一款免費開源的軟體 Ultimate Vocal Remover (UVR),能夠精準地去 除音樂中的人聲或背景噪音,保留人聲,可 提升處理錄音辨識率。

B. 擬定提示詞內容:

與取得檔案提示詞雷同,可先說明:「這 是一個有關自來水有關的演講錄音,題目是 ^r Your water ecosystem green and circular? Purify your wastewater with FerSol』 再將圖 2 的提示詞略為修改併入,即可做為新的提示 詞內容。

C. 生成文字稿及摘要:

在準備好可辨識錄音檔後,由於現在 (2024年底) ChatGPT的 APP 及網頁介面並不 支援錄音檔分析。但在其他 GenAI 工具,則 是有多種選擇方案:

·方案 1,開源地端工具 Whisper desktop:

GenAI 推論需有適當的算力,要準備有 GPU 卡的電腦,作者使用微星(MSI)14 吋筆 電,配備i7-13700H CPU、64G RAM、NVIDIA GeForce RTX 4050 Laptop 6G GPU,下載 Whisper medium 中等規模開源模型,在筆電 上使用,如圖 16 所示,Richard Bruins 執行 長現場演講錄音約47分鐘, Whisper medium 大約在 11 分鐘內轉成英文文字稿,準確率 與速度都可接受。

方案 2,使用 NotebookLM:

2024 年 9 月上線 NotebookLM,新增上 傳錄音檔功能,但有每個檔案大小 200M 的 限制,使用方式與圖5的操作方式一樣,即

可依據提示詞的架構內容生成導讀摘要內 容,如圖 17 所示,不需在電腦上準備 GPU 算力,也是免費操作,是很好的選擇。



圖 16 開源模型 Whisper 生成錄音文字稿



圖 17 NotebookLM 生成錄音摘要

方案3,其他硬體配備:

目前在市面上有許多支援錄音轉文字 稿的硬體產品,作者目前使用過二個產品。 一件是 PLAUD 錄音卡,坊間相似的產品非



常多,價位大多落在二千元左右。使用專用 APP, 綁定帳號後, 每個月可免費使用 300 分鐘文件生成處理。該類產品使用類似 Whisper 模型,依不同情境優化建立提示詞 模版,建立錄音轉文字稿功能。再連接 ChatGPT、Gemini 及 Claude 大語言模型,進 行摘要內容生成。

另外,今年 Google 及三星公司發表的 AI 手機,也具有相關 AI 功能。例如,作者 在今年 11 月購入的三星 S24 ultra 手機,手機 內建錄音文字稿功能,並連接雲端生成摘要 內容。

(3)第三階段:綜合處理拍照與錄音導讀。

由於錄音內容常受講者發音、咬字、用 詞及專業術語的影響,而常有誤判的機率, 建議進行綜合處理,將錄音導讀先依拍照導 讀內容檢視修正錯誤,可重覆使用前面提到 的處理方式與使用技巧。由於2024年9月上 線的新版本 NotebookLM,新增學習指南功 能,使用者只要輸入論文檔案、演講錄音及 簡報拍照等資料,它就能自動生成整合所有 關鍵資訊的學習指南,建議在該網站上使 用,或在現場使用 APP,快速處理錄音及拍 照簡報。

五、結論與建議

本研究經由二個實際案例,使用三種不 同媒體:論文檔案、簡報拍照及演講錄音, 在論文導讀、現場錄音處理與投影片摘要生 成的應用中,驗證了生成式 AI 工具展現高 效、準確的資訊處理能力,顯著減少資訊整 理與吸收的時間,能幫助從業人員克服語言 障礙、應對龐大的資訊量,並快速捕捉會議

中的關鍵內容,確實可提升自來水從業人員 在國際研討會的學習效率。然而,生成式 AI 在技術細節處理、語音品質處理及數據隱 私保護等方面仍有改進空間,需要結合人工 校對與補充,以呈現最佳效果,主要建議如

- (一)經由實際論文研討比較發現,現階段大 語言模型各有優缺點,也存有盲點。例 如,在僅2頁「管網の再構築による管 路の更新需要の削減」論文分析中, ChatGPT 及 Gemini 都各有遺漏及特點。 若無經費限制下,建議在實際使用上, 應整合各 LLM 模型多做比較,找出各模 型的優點,也可針對差異,提早發覺 AI 幻覺。
- (二)想要瞭解論文內容,應依據需求建立不 同的提示詞模版,除可重覆使用,也能 在相同提示詞(prompt)下比較不同的成 果。
- (三)每年自來水事業都選派人員參與國際研 討會,例如:2025 年將有阿姆斯特丹國 際水資源週、紐西蘭國際水協會第十屆 亞太地區會議與展覽會…等會議及研討 會,建議自來水事業單位,派員出國人 員回國後,除進行心得分享外,能將蒐 集的國外論文及資料轉換成中文的導讀 型式,讓同仁能快速瞭解國際研討會概 況,擴大派員參與國際研討會的成效。
- (四)取得國外論文後,建議分二階段進行, 先以 AI 工具建立初讀內容著手,可分享 給業務相關同仁快速選取導讀,若對論 文内容有興趣,再進一步針對不明瞭或 想要再討論研究內容,深入瞭解。

▲ 自來水會刊第 44 卷第 1 期(173)

- (五)論文圖表與相關文字內容,也可預先放 入提示詞(Prompt)中,交給 AI 工具先行 整理。在論文翻譯部份,建議直接交給 ChatGPT或 NotebookL,以提示詞方式產 生翻譯內容,不必切換工具,較為便利。
- (六)特別注意的事,AI 是個人整理資料的輔助工具,不是取代個人意見。建議對於有興趣的論文,務必要再詳讀內容,從論文中找到自己的觀點,進行補充或重新撰寫心得摘要,才有學習成效。
- (七)當使用雲端方案時,資料內容若有涉及機密事項、業務機敏內容或未公開事項,請務必依生成式 AI 相關指引辦理。

作者簡介

時佳麟先生

現職:臺北自來水事業處專門委員

專長:自來水工程設計規劃及搶修維護、GIS 地理資訊系統、水理分析運用、人工智慧導入管理

張瑛興先生

現職:臺北自來水事業處二級工程師

專長:自來水工程、GIS 地理資訊系統、人工智慧管

理運用



自來水用高壓沉水式抽水機效能應用探討

文/許登發、李育樟、廖芳麟、陳德記、黃耀賢、梅英昌、李家裕、張國馨

摘要

本研究探討 3.3kV 高壓沉水式抽水機在 供水系統中的應用和性能,內容包含抽水機 常見的故障情形與原因,並分享北水處遭遇 的問題分析與相關的解決對策。另外再探討 抽水機周邊設備的匹配度,提供優化抽水機 選擇、運轉和維護的策略,以提高整體系統 性能和能源效率。我們的研究並建議,將抽 水機與變頻器(VFDs)作適當的搭配使用以 及實施遠端壓力回授控制,可以帶來可觀的 節能效果並精進水壓管理。

關鍵字:高壓沉水式抽水機、整體系統性能、能源效率、變頻器

一、前言

北水處 400hp 以上之抽水機均採用 3.3kV 高壓驅動,以往高壓抽水機大部分採 用豎軸式,但因近二、三十年來環保意識抬 頭,豎軸式抽水機噪音問題經常造成民眾抗 議,目前既有抽水機大部分皆已改為沉水 式,故高壓沉水式抽水機為北水處極為重要 之供水設備。

本研究案經由探討高壓沉水式抽水機 效能裕度及運轉操作限制等相關問題,進而 延長機組之使用週期,以提高機組運轉穩定 度。另藉由探討抽水機相關規範,進而達到 最適化之設計考量,期使北水處相關場站抽 水機能發揮最佳運轉效率、降低供水耗能。

北水處使用高壓沉水式抽水機至今已 二十餘年,冀望藉由本研究探討該抽水機效 能和實際應用的經驗及成果,能提供國內自 來水事業單位於抽水機之選用及操作應用 上之相關參考。

二、抽水機常見的故障情形及原因

(一)抽水機故障情形

依損壞之構件進行分類包括,第一類馬 達部分:線圈絶緣電阻變差、線圈熔融及轉 子與定子間相互摩擦(圖1)。

第二類泵浦部分:葉輪及吸水路元件發 生孔触現象(圖2)。

第三類轉動件部分:軸承及機械軸封磨 損(圖 3)。



馬達線圈燒毀





泵浦葉輪孔蝕現象 圖 2



徑向軸承摩耗(橡膠)



徑向軸承摩耗(合成樹 脂)







徑向軸承摩耗(銅合金)

機械軸封摩耗

圖 3 軸承及機械軸封磨損

(二)抽水機故障原因

依損壞之構件進行分類包括,第一類馬 達部分:機械軸封損壞造成馬達室冷卻水流 失致線圈過熱、轉子編心與定子互相摩擦、 搭配變頻器使用電力突波線圈擊穿現象。

第二類泵浦部分:徧離額定點運轉,出 水流量過大,造成吸水路水力摩損增加,發 生孔蝕現象。

第三類轉動件部分:無法形成有效潤滑 水膜之直接接觸摩損及轉動不平衡導致之 過大振動等。

(三)抽水機主要損壞構件

1.馬達線圈

沉水式抽水機電動機之馬達線圈均浸 没於水中屬溼式線圈,陸地型抽水機之馬達 線圈均外露於空氣中屬乾式線圈。在技術上 及實務上,陸地型電動機在國內屬成熟產 品,馬達線圈為乾式使用壽命較長,維修保 養更簡單容易,價格更透明。而沉水式抽水 機之電動機均屬各廠牌專有,原廠報價過 高,維修更換時通常只能使用市面代品,無 法保證完全修復至原有效能。

2.機械軸封

設置於沉水式抽水機之馬達室底部,可 將馬達室與外界隔開,讓馬達室之冷卻水保 存不流失,以發揮馬達線圈冷卻效果。機械 軸封摩損導致之馬達室冷卻水流失,將使馬 達線圈無法得到充分足夠之冷卻,運轉時線 圈温度超過線圈設計等級,使線圈劣化及破 壞。沉水式抽水機使用之機械軸封只有單對 對摩面軸封,做基本之阻絶。不若中大污水 型乾式沉式水抽水機,使用之機械軸封則有 雙對對摩面軸封,經過雙層把關,能更有效 隔絶內外部,避免乾式線圈燒毀。對於水池 水位會低於馬達室之沉水式抽水機,機械軸 封也能採雙對對摩面軸封設計,也許是一種 提供安全的另項選擇。機械軸封對摩面不論 是固定面或轉動面,轉動面須具耐摩性,最 常見之材質為碳化矽或碳化鷂。

3.水潤軸承

徑向軸承之材質包括銅合金、橡膠、合 成樹脂及碳精等,早期都使用銅合金,近年 來多有採用橡膠、合成樹脂及碳精種類,推 力軸承則有不銹鋼及碳精種類。沉水式抽水 機在啟動時會有較大之軸向力,因此推力軸 承扮演很重要角色。徑向軸承在橫向裝置之 抽水機將承受極大之抽水機重量,轉軸與軸 承之間有效澗滑水膜形成極其重要,無法有 效形成會造成轉動件直接對摩,很容易摩耗 機件,讓抽水機產生振動。

馬達徑向軸承摩損不予處理,久而久之 將使轉子徧心晃動加巨,而與定子互相摩 擦,先是矽鋼片,再深入就是定子繞線及轉 子銅棒。繞線之破皮,最終導致絶緣破壞, 抽水機故障無法運轉。

泵浦葉輪徑向軸承摩損不予處理,久而 久之將使葉輪徧心晃動加巨與泵浦外殼互 相摩擦,造成泵浦耐摩環及葉輪葉片邊緣摩



損,泵浦水力性能及運轉效率變差,甚致轉 軸卡住,抽水機故障無法運轉。

隨著抽水機運轉時數增加,尤其是常態 未在額定點運轉,對轉動件將產生異常摩 耗,徑向軸承與轉軸間隙增加,轉子與定子 間隙減小,葉輪與泵浦殼及轉子與定子互相 摩擦,容易發生故障。

另外如孔蝕現象、運轉噪音等也是抽水 機運轉時常見的故障現象及待解決的問題。

三、問題分析與對策

從抽水機組完成設置開始運作,組件之 磨耗也同時展開,這也意味著機組之運轉, 在到達其元件之磨耗周期時,必須完成維修 保養程序,以確保其後續之正常運作。即便 機組之設計適當且安裝正確,磨耗也是無法 避免的,但抽水機效能裕度及運轉操作限 制,可提高機組運轉穩定度,藉此降低元件 之磨耗程度, 推而延長機組之使用週期。此 外,因機組之設計係就其當時實際供水情形 進行分析及選用,因此當供水服務區域改 變、或因備援需求進行調整時,其系統阻力 之改變,亦會導致機組運轉偏離其最佳操作 點。

根據使用經驗,將進一步深入分析現況 問題可能原因並建議可行對策,來改善既有 機組運轉效能穩定度及做為後續規劃之參 考,

問題分析如下:

(一)抽水機組容量過大

在不考慮外部操作變數中關於設備或 管件安裝不當所導致之振動前提下,抽水機 組運轉時偏離最佳操作點之程度,實為影響

振動大小之最主要變數。

當選用抽水機額定容量大於系統實際 需求時,可能會出現一些不利運轉的情形及 相關解決對策如下:

1.振動與噪音問題

為了抑制過大之輸出流量,必須限縮出 口閥開度,然而此舉會使機組操作於備壓較 高之環境,因而使其運轉向左偏離最佳操作 點。此時軸心會受到軸向力之作用而偏移, 甚至會造成其餘支撐組件接觸面之金屬摩 擦(Boundary Lubrication)。另外,為了減少過 高之輸出揚程,減台操作是經常的作法,但 因為減台所降低之輸出揚程,卻會導致另一 部運轉中機組往右偏離最佳操作點,甚至有 可能會接近到其運轉脫出點(Run-out Point),此時孔蝕現象可能發生,進而造成機 件之損壞。前揭兩種情況均會產生很大的振 動及噪音, 進而加劇機組組件之磨耗, 如圖 4 。

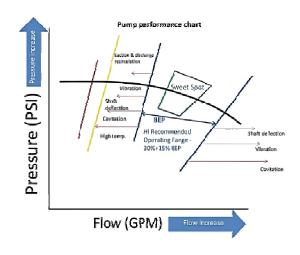


圖 4 泵浦特性曲線

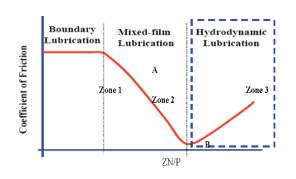
2.停、開機操作頻繁問題

機組過大,常避免不了配合實際供水需 求之停、開機。根據圖 4 泵浦特性曲線



Osborne Reynolds 的研究以及 Stribeck 曲線, 因摩擦特性原因,抽水機組並不適合進行太 頻繁地停、開機。Stribeck 曲線以三個階段描 述了摩擦力與滑動速度的關係如下:

- (1)低速階段(乾摩擦):摩擦力主要由固體 之間的直接接觸引起,並隨著速度的增加 而線性增加。
- (2)中速階段(混合潤滑):有固體接觸,也 有液體潤滑,此時摩擦力相對穩定。
- (3)高速階段(完全潤滑):液體潤滑層完全 阳隔了固體表面的接觸,摩擦力隨速度的 增加而減小,趨向於一個極小值。



Stribeck 曲線 圖 5

從 Stribeck 曲線可知(圖5),當機器運 行時,摩擦力會產生熱量,這可能導致機器 部件過熱和損壞。抽水機組軸封或軸承之磨 耗程度,與水膜(Hydrodynamic Lubrication)是 否穩定有直接的關聯,而水膜要建立且產生 足夠的壓力去分離軸心與軸承或軸封之接 觸面,則是需要在一定的轉速之下。因此, 從高速、低速到停止,或從停止、低速到高 速,在低速啟停階段,是抽水機轉動組件磨 耗最嚴重的時候。因此,為了最大程度地減 少摩擦和熱量的產生,最好讓機器在較長的 運行時間內保持穩定運轉,以減少能源消耗 和機器部件的磨損。如果機器頻繁地停止和 啟動,摩擦力會在每次重新啟動時會重新生 成,可能會影響機器的性能和壽命。此外, 頻繁啟、停也會增加能源消耗,因為在啟動 過程中需要額外的能量來克服靜止摩擦。

3.解決對策

- (1)重新評估設備選型:根據實際需求重新選 擇抽水機的額定容量,確保其與系統需求 相匹配。
- (2)優化操作策略:減少頻繁的停、開機操 作,建議在較長時間內保持機組穩定運 行,以降低摩擦和熱量產生。
- (3)安裝變頻器:使用變頻器調節抽水機的轉 速,以適應不同的流量需求,避免過度偏 離最佳操作點。
- (4)重新評估實際供水需求,選用合適容量的 抽水機組。
- (5)採用變頻控制,調整抽水機運轉點以接近 最佳效率點。
- (6)改善操作策略,减少不必要的停、開機頻 率。

(二)電動機裕度不足

大多認為電動機在全載運行時將達到 最大效率,實際上幾乎所有符合 NEMA 標準 的電動機最大效率約在全載的65%至80%之 間。若將電動機額定訂為全載的80%,實務 上可降低線圈溫度、增加絕緣壽命而不犧牲 效率,還可確保電動機可於較高環境溫度、 電壓下降和輕微相位不平衡的情況下正常 運轉。

相反的,當電動機的額定容量小於實際 所需的負載時,將導致過熱、增加磨損並縮 短馬達的壽命,其相關原因及解決對策如 下:

- 1.絕緣損壞:當電動機容量不足以應對所需 的負荷時,電動機將處於過度負荷的狀 態,導致過電流,造成其線圈過熱、絕緣 材料老化,進而增加絕緣損壞的風險。
- 2.效率降低:電動機在過負荷運轉時的效率 通常會降低,這意味著更多的電能將轉化 為熱能而不是機械能,導致電動機過熱。
- 3.振動:根據 Osborne Reynolds 研究,當軸 心在軸封或軸承中轉動時,其接觸面間會 形成厚度約 1um 之水膜。在理想狀況下, 水膜將產生足夠之壓力避免金屬表面直接 接觸。但若機組運轉中產生振動,會破壞 水膜之穩定狀態,因而造成金屬表面之直 接接觸,其因接觸磨擦產生的熱,將進一 步抑制水膜的建立.。

4.解決對策

- (1)適當增大電動機容量:確保電動機的額定 容量能夠滿足實際負載需求,避免超載運 行。
- (2)定期維護與檢查:定期檢查電動機的絕緣 狀態和運行效率,及時發現並處理潛在問 題。
- (3)使用高效電動機:考慮使用高效能電動 機,以提高整體效率並降低熱損失。
- (4)選用額定容量為實際負載 80%左右的電 動機。
- (5)定期檢查電動機負載情況,必要時更換更 大容量電動機。
- (6)加強預防性維護,及時更換磨損部件。

(三)系統阻力變動

1.多機並聯運轉:

不同特性的抽水機組併聯運轉並不適 當,因為在高揚程低流量區段,較小機組可 能會有運轉於全閉揚程(Shut-off head)的情 形。這會導致機組運轉振動、噪音及加速組 件之磨耗(bearing and seal), 進而降低其應有 之使用年限。如圖6所示,

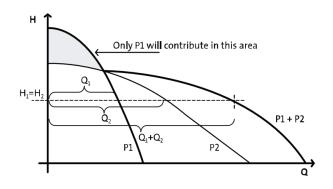


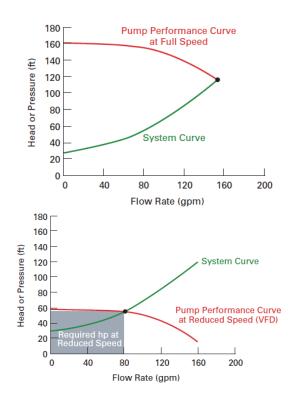
圖 6 不同型式抽水機併聯特性曲線

不同大小型式的抽水機組併聯運轉情 形下,在呈現陰影這個區域內的輸出全是由 P1 抽水機貢獻的,而此時 P2 抽水機則是運 轉在全閉揚程下。這個情況會一直持續到揚 程 H 降到 P2 機組最高揚程以下,輸出特性 曲線才會是 P1+P2 的合成曲線。

2.變頻運轉:

變頻設備廣泛使用於北水處加壓站,除 具備調變管網壓力之功能外,因抽水機負載 屬於變動轉矩型態,故其在滿足相似定理 (Affinity Laws)前提下,功率會正比於轉速3 次方。也就是說,原動機轉速降低 1/2,所 需功率只剩額定轉速時之 1/8,可大幅降低 抽水機耗能。如圖7所示,在不增加系統阻 力條件下,降低抽水機轉速,其特性曲線往 左下方平移,其流量由原本之 160gpm 降低 至 80gpm, 圖中灰色區塊代表所需功率。





降低抽水機轉速改變出水量 圖 7

前面兩種方式都可達成調節流量的目 的,但以變頻方式來改變抽水機特性曲線除 能節省可觀的動力費外,抽水機也不會過度 偏離其最佳操作點(BEP)。另外,並非所有加 壓站都適合以變頻設備來調節流量。因為, 相似定理僅適用於以損失水頭為主的系統 曲線。如果於以淨水頭為主(例如高地社區打 至上水池之加壓站)的系統中以變頻器來調 變流量,其運轉效率及節能成效與使用調整 出口閥的做法並不會有很明顯的差異。

3.解決對策

- (1)優化管網設計:對管網進行評估和優化, 减少不必要的阻力損失,確保流量穩定。
- (2)多機並聯運行:根據需求進行多台抽水機 並聯運行,以提高系統的靈活性和可靠 性。
- (3)根據系統特性選擇適當的運轉模式(並聯

運轉或變頻運轉)。

- (4)優化系統設計,分離開放系統和封閉系 統。
- (5) 選用相同特性的抽水機組進行並聯運轉。

(四)雷壓變動:

電壓變動是指電力系統中電壓水平的 變化,可能是瞬時的,也可能是持續的,可 以是周期性的或不規則的。電壓變動通常以 百分比形式表示,即電壓相對於額定值的變 化程度,可能由負載變動、電力系統的電壓 降或不穩定及打雷等自然環境所引起的。

解決對策包括:

- 1.安裝電壓監測設備:即時監測電壓水準, 及時發現並處理電壓波動問題。
- 2.改善電力供應系統:與電力公司協調,確 保電力供應的穩定性,減少因電力故障導 致的影響。
- 3.使用穩壓設備:考慮使用穩壓器或不斷電 供應系統(UPS)來保護電動機和其他設 備免受電壓波動的影響。
- 4.與電力公司溝通,要求改善供電品質。
- 5.選用具有更高電壓裕度的電動機。
- 6.安裝電壓穩定裝置或無功補償裝置。
- 7.定期監測電壓變化情況,及時調整運行參 數。

(五)抽水機噪音

1.發生原因:抽水機噪音主要來自泵浦的葉 輪與水流的切割聲及機械聲,另加上抽水 機泵浦內水路較複雜急轉折產牛更大之噪 音,整體噪音會更大。因此只要是出水管 及抽水桶露出之部分,就會傳遞出很大之 噪音。水池、半埋式管中加壓露出部分較 小,而全露式管中加壓抽水機,整個抽水



桶均全露出,噪音最大。

2.改善對策:

- (1)增加支撐或固定:確保出水管和支架之間 有足夠的支撐和固定。
- (2)減震措施:在抽水機承座與地面之間以及 出水管與固定台之間添加減震材料,如減 震氣墊等,以吸收振動和減少共振噪音。
- (3)調整管路: 調整明管的位置或角度,以 減少共振雜訊的產生。
- (4)使用隔音材料:在明管周圍添加隔音材 料,以減少噪音傳播和共振效應。
- (5)檢查管路條件:定期檢查明管的條件,確 保它們沒有損壞或阻塞。
- (6)增加阻尼:在明管的某些部位增加阻尼材 料,以減少振動和共振效應。

3. 應用實例:

- (1)每台承座使用8只减震氣墊,加強抽水機 承座與地面之間的防震效果,以降低抽水 機震動噪音。
- (2)出水管與固定台之間使用2只避震器,加 強出水管與固定台之間的防震效果,以降 低出水管震動噪音。
- (3)加裝變頻器,可降低抽水機轉速並達到緩 啟動效果,以降低震動及噪音。

四、周邊設備匹配度探討

(一)高壓變頻器

高壓變頻器是運用變頻技術與微電子 技術,透過改變電機工作電源頻率方式來控 制交流電動機的電力控制設備,隨著工業自 動化程度的不斷提高,變頻器也得到了非常 廣泛的運用。相關操作注意事項如下:

1.變頻器容量的裕度匹配

變頻器的裕度為變頻器容量與負載需 求的比值,裕度的目的是確保變頻器在不同 工況下能夠穩定運行,並應對突然負載變化 或未來的系統擴展。適當的裕度可以提高系 統的穩定性、可靠性和安全性, 並延長設備 的使用壽命。

北水處目前採用方式分為新購置變頻 器安裝於既有抽水機,以抽水機最大運轉電 流 1.1~1.15 倍選擇變頻器容量,若抽水機及 變頻器皆為新購則以抽水機之電動機額定 輸出 1.1~1.15 倍選擇變頻器容量。

2.變頻器操作限制條件

- (1)變頻器干擾與防治:為抑制諧波、輻射及 供電系統干擾,可採用安裝電抗器、安裝 隔離變壓器、安裝主動式濾波器、變頻器 接地、電源線和信號線分別鋪設及採購多 脈波變頻器等方式進行改善。
- (2)諧波管制:變頻器產牛之諧波源屬於公用 電力系統的污染源之一,除造成供電系統 內用電設備性能及壽命降低之外,對相關 通信系統及電子設備也會產生干擾。
- (3)起動時間:變頻器是一種電子設備,通過 將固定頻率的交流電轉換為可調節的頻 率和電壓輸出來控制馬達。利用變頻啟 動,可設置啟動曲線來實現平穩啟動可降 低啟動電流及避免管網擾動,惟過長啟動 時間會造成抽水機機械磨損及過熱問題 產商,我們可依據抽水機廠商建議之啟動 時間設定加速時間,目前北水處高壓抽水 機 0~60HZ 加速時間亦參考廠商建議值設 定在10秒以內。
- (4)啟動方式:較常用的高壓電動機啟動方法 有:

- A.直接啟動:依據台電用戶用電設備裝置規 定,自行評估是否適合採用此啟動方式, 目前北水處使用於由台電 69kV 供電之場 站抽水機。
- B.串聯電抗器啟動:這種方法的主要目的是 降低起動時的電流衝擊,從而減少對電力 系統和電動機本身的影響。
- C.變頻啟動:變頻器與傳統馬達控制方法相 比具有節能高效、精確控制、啟動平穩、 減少機械損壞、多功能性及提高設備可靠 性的優勢。
- (5)最低運轉頻率:使用變頻抽水機運轉確實 可提高抽水機運轉效率,惟抽水機因型式 及規格不同,其 Q-H 特性相對效率曲線亦 會所差異,目前北水處設定變頻器之頻率 運轉範圍為 42~60Hz(70~100%N), 最低頻 率設為 42Hz,除考量泵浦控制閥為克服管 線背壓所需之最低開啟動力要求及避免 電動機及軸承運轉溫度無法有效冷卻,另 抽水機廠商操作維護手冊亦建議抽水機 採變頻運轉時最低運轉頻率需在 40 Hz 以 · - ·
- 3.變頻控制回授點選擇:北水處變頻器控制 模式以遠端壓力回授控制為主及出口壓力 回授控制為輔,大型加壓站變頻器採管網 末端水壓回授控制抽水機之操作模式,可 依尖離峰時段及不同季節預設或隨時改變 壓力設定值,以滿足管網最佳壓力需求, 提供穩定之供水品質,並有效降低管線漏 水。小型加壓站因供水區域穩定且屬於較 封閉性管網,多屬無人駐守之加壓站,故 變頻器運轉控制皆採出口端定壓力且以 1 台抽水機控制 1 台變頻器的控制模式,力

- 求控制簡單、穩定及標準化,藉以滿足尖 離峰用戶用水需求, 並調節抽水機之輸出 能量達節能之目的。
- 4.多部抽水機並聯變頻操作情況下之操作方 式建議
- (1)運轉台數:圖8為抽水機並聯運轉曲線, 當加壓站出水量(Q)在(0<Q<Qb1) 範圍內時,1台抽水機以 N 轉速提供流量 需求,以遵循設定點曲線,其中 N 的值 可以為 (0<N<N0)且N0對應於標稱轉 速。當流量(Q)處於第二範圍(Qb1< Q<Qb2) 時,加壓站抽水機運轉模式可 分為1台定速運轉1台變頻運轉或2台同 時變頻運轉。當流量(Q)在(Qb2<Q < Q b 3)範圍內時,加壓站抽水機運轉模 式主要可分為 1 台定速運轉 2 台變頻運 轉、2 台定速運轉 1 台變頻運轉或 3 台變 頻運轉。

隨著管網用水需求增加,加壓站抽水機由 1 台變頻運轉變成 1台定速運轉1台變頻運轉 或 2 台同時變頻運轉時,加壓站用電量會跳 躍增加,當啟動第3台時,又會產生另一次 用電跳躍。產生這些跳躍的原因是為抽水機 開始工作時 (q = 0),抽水機消耗的能量不 為零,即使抽水機效率為零,機械扭力也會 消耗能量,我們可由下表得知抽水機運轉在 3 台以下且水量變化不大時採 3 台變頻運轉 節電效果較佳。而北水處各加壓站因尖離峰 時段出水量變化量大,目抽水機啟停時出水 壓會劇烈變化,目前加壓站抽水機多台並聯 運轉主要採取多台變頻器並聯運轉或定速 搭配變頻器聯運轉,表1為最佳抽水機運轉 台數配置。



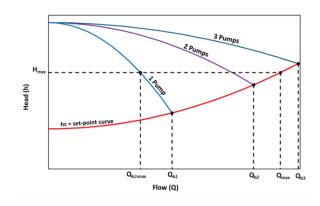


圖 8 抽水機並聯運轉曲線

表丨	最佳抽水機運轉台數配置

流量範圍	定速運 轉台數	變頻運 轉台數	抽水機運轉台數
0 <q<1.01< td=""><td>0</td><td>1</td><td>1</td></q<1.01<>	0	1	1
1.01 <q<1.99< td=""><td>0</td><td>2</td><td>2</td></q<1.99<>	0	2	2
1.99 <q<2.92< td=""><td>0</td><td>3</td><td>3</td></q<2.92<>	0	3	3
2.92 <q<3.03< td=""><td>1</td><td>2</td><td>3</td></q<3.03<>	1	2	3
3.03 <q<3.16< td=""><td>2</td><td>1</td><td>3</td></q<3.16<>	2	1	3

(2)變頻器1對多操作模式

採用變頻運轉雖可降低供水耗能、減低 管線漏水、提升控制精確度及供水品質、改 善抽水機起動持性及降低緊急電力設置容 量等諸多好處,惟考量初期建置成本高昂及 場地面積限制,並不會每台抽水機接安裝變 頻器,造成有安裝變頻器之抽水機長時間在 運轉,未搭配變頻器之抽水機則利用率長期 偏低,北水處目前改善方案主要是將變頻器 以1對2或1對3搭配抽水機,將可輪流運 轉各台抽水機。

(三)導入抽水機效率監測管理程式

北水處結合供水監控系統(SCADA),在 不增加硬體設備及在既有系統架構平台之 下,開發抽水機效率監測管理程式並導入供 水加壓系統,可用於單台及多台抽水機組合

運轉之場合,以便即時及長期監控抽水機運 轉效率,作為抽水機「績效驗證」之有利工 具。相關做法說明如下:

1.抽水機效率計算方式

抽水機效率計算所用到之參數包含加 壓站進出水壓、水池水位、水池深度、流量 及各台抽水輸入功率、變頻器運轉頻率等, 由 PLC 讀取現場儀錶之實際數值,並由 PLC 即時計算抽水機效率,並透過 SCADA 圖控 系統即時顯示抽水機運轉效率。

2.資料儲存及數據分析

SCADA 圖控系統除即時顯示抽水機運 轉效率外,也會每分鐘擷取1筆相關抽水機 運轉之台數排列組合、全揚程、流量、變頻 器頻率及入力變化等運轉資訊儲存至資料 庫, 俾利後續數據分析。

3.設定效率異常警報功能

操作管理人員可由監控電腦依歷史 尖、離峰時段運轉趨勢,設定運轉效率低限 值,當抽水機運轉中發生效率異常時,監控 電腦將跳出警報窗格,即時通報操作管理人 員,以採取應變作為,可降低供水風險及耗 能。

4.效率監測效益

效率監測程式可應用於單台及多台組 合運轉之場合,並可分析各大型加壓站抽水 機效率排序,對於抽水機組合運轉效率排序 落差值若超過±2%,將調配抽水機之最佳運 轉組合,以達節能省電目的,另抽水機組合 效率排序落差值在±2%以內者,考量在儀表 量測誤差之範圍,仍需持續追蹤後續效率之 變化,隨時掌握抽水機運轉狀態,以便於抽



水機出現異常徵兆尚未故障時,得以及早發 現並採取應變措施,減少無謂的能源耗損與 降低供水風險。

(四)建構抽水機備援機制

- 1.採購近似相同符合符合供水需求且揚程近 似之抽水機:配合早期水壓政策,加壓站 主要採購高揚程之抽水機,隨著近年來為 降低管網漏水及節能加壓站陸續已陸續揚 程介於 25~35M 之抽水機,並會將汰換下 來之抽水機依其狀況評估是否可整修後納 入備援機組。
- 2.建立相互備援機制:檢視各加壓站抽水機 馬力數、出水壓力、流量及出水管口徑予 以歸納分組並在不影響既有加壓站運轉情 況下建立可相互支援之抽水機清冊,以利 抽水機發生異常時可隨時吊拆機組支援。 大多數加壓站礙於裝設空間不足,並不是 每站都可增設固定備載機組,將藉由供水 操作條件相近(水壓、水量)抽水機群組歸 納,並利用維修時建立相關機組尺寸資 料,納入加壓站互援評估,於後續汰換或 增設時,將規格統一化,包含(1)電氣規格: 電壓等級及馬力數(Hp);(2)抽水機型式: 中吸或低吸、抽水桶為直立式或橫臥式; (3)法蘭規格口徑: 7.5K、10K、16K 或出口 口徑等。

五、結語

根據 AWWA 最新研究報告指出,美國 自來水事業平均 80-90 %碳足跡歸因於電力 使用,且將近 91-99%電力使用於加壓抽水 機,經統計分析,北水處加壓抽水機用電量

佔總用電之91%以上,其中高壓沉水式抽水 機之用電高達總用電量的85%以上,抽水機 須局負維持供水系統壓力與水量穩定之任 務,為最主要之能耗設備能。淨零碳排已是 各級政府機關及企業目前推動的重點工 作,北水處推行 ESG 在降低供水耗能為重要 的 KPI 指標,降低供水耗能必須從改善抽水 機之效能著手。當在購置高壓沉水式抽水機 時,除了應考慮購置高效效、長效型之抽水 機之外,如何透過提高抽水機之運轉效能及 節能對策之採用,以提高能源使用效率及整 體水資源的利用率,從抽水機之選用、操 作,維護及管理等層面,使設備發揮最佳之 效能,以降低供水耗能、提升供水品質及精 進設備維護管理,並建立一套科學化的抽水 機效能管理機制,為本研究案探討之主軸。

本研究以高壓沉水式抽水機效能應用 為出發點,探討北水處這幾年在高壓沉水式 抽水機在使用操作及效能管理最佳化上取 得的成果與效益,及如何精進改善使用經驗 上遭遇的問題及更有效建立一套科學化之 抽水機效能管理機制,故希望藉由本次研究 所提出的主要發現與建議作法,能提供國內 自來水事業單位於抽水機之選用及操作應 用上之相關參考。

參考文獻

- 1.中華民國自來水協會,「自來水用高壓沉水式 抽水機效能應用探討」, 2024
- 2.王建昌(2013)。高速永磁同步馬達驅動技術。 臺灣能源期刊,第1卷第1期。
- 3.王銘榑、楊境維、黃欽稜(2013)。供水管網水 壓精緻操作與管理-以臺北地區為例。中華民



國自來水協會會刊,第32卷第1期。

- 4.李育樟(2011)。供水加壓抽水機耗能監測。水 利期刊,第21期。
- 5.陳慧珠,郭景宜(2023)。高效率馬達全球法規 發展。機械工業雜誌,486期。
- 6.產業泵浦效率管理節能技術手冊。上網日期: 2024年11月17日,網址:https://emis.itri.org. tw/Book/Content?ID=48&type=32
- 7.劉瑞琪(2018)。抽水機設計選用參考手冊。台 灣自來水公司。

作者簡介

許登發先生

現職:臺北自來水事業處副總工程司

專長:機電工程

李育樟先生

現職:臺北自來水事業處場長

專長:機電工程

廖芳麟先生

現職:臺北自來水事業處一級工程師

專長:機電工程

陳德記先生

現職:臺北自來水事業處二級工程師

專長:機電工程

黄耀賢先生

現職:臺北自來水事業處二級工程師

專長:機電工程

梅英昌先生

現職:臺北自來水事業處二級工程師

專長:機電工程

李家裕先生

現職:臺北自來水事業處工程總隊股長

專長:機電工程

張國馨先生

現職:臺北自來水事業處三級工程師

專長:淨水處理、水質檢驗