

自來水智慧化管理及水理分析於工程實務應用

黃裕泰¹ 黃欽稜² 李承鴻^{3*} 許家成⁴ 陳勳融⁵

摘要

都市水資源管理的重要性日益提升，為協助維運管理與分析決策，需導入人工智慧、水理模型與地理資訊技術。以自來水管線為例，本研究結合水理分析與空間分析，克服過去無法精準評估受影響用戶的缺點，並提出優化建議。應用面向包含三階段：第一，施工影響分析，透過模型找出受影響區域與用戶；第二，管網規劃設計，藉智能斷水與邊界閥啟閉，找出最佳進水點；第三，多時段溯源分析，掌握節點水源比例與主要流量路徑。此模式能動態量化影響用戶，並將結果精準反饋至各管線，為臺北自來水事業處提供專屬管理方案，不僅提升維護效率，亦強化管線汰換決策支援，實現精細化與永續管理。

關鍵詞：水理分析、地理資訊系統(GIS)、溯源分析、管網規劃設計、智慧化管理

1. 前言

台灣的自來水普及率已突破 90%，六都地區更高達 95% 以上，自來水管網的供應已和民眾生活息息相關，尤其在人口密集的都市區，維持自來水管網的正常運作是非常重要的工作。當發生重大災害時，自來水管線能否正常運作，不會引發二次災害，有效降低災損範圍及協助救災更是自來水管理單位的重責大任。由於目前天然災害難以預測，因此加強重要管線的管理及建立風險管理評估，才能有效抑止災害的擴大。因此本章節將說明結合自來水智慧化管理及水理分析於工程實務應用模式，這種模式將有助於改善供水系統的穩定性，以防止災害發生時，救災單位無水可用的情形，避免二次災害，並期望此研究成果可做為未來相關研究之參考。

評估管線損壞風險的最主要目的是要能有效地分配資源，將資源投入在高風險區域。以確保資源有效利用，避免在低風險區域進行不必要的支出。通常風險的計算是透過將損壞的嚴重程度與發生損害的可能性相乘來衡量的，而管道破裂或損壞，在老化的供水管網系統中是常見的事件。導致這個

問題發生的因素：包括管道老化、地震活動、管道壓力變化等(Rezaei *et al.*, 2015)。然而，儘管不斷努力期望能解決問題，在全球的供水系統中，仍然損失了大量的水資源。因此，供水管道的維護、管理和管線汰換，對水資源管理單位而言是至關重要的責任。

近年來，許多新的研究提出了以新演算法或模型為基礎的風險評估策略(Cen *et al.*, 2023、Henriques-Silva *et al.*, 2021、Ullah *et al.*, 2018)。隨著監測設備在物聯網架構下已逐步發展成熟，這些監測設備能夠即時地收集流量和壓力數據(Li *et al.*, 2015、Page *et al.*, 2019、Creaco *et al.*, 2019)。水理感測器技術和即時數據收集系統的進步(例如：監控數據，SCADA)，可快速取得水壓即時資訊，促進了各種以水理分析元件為方法的即時分析。這些方法利用水理建模、統計分析和人工智能(Wang *et al.*, 2020、Zhou *et al.*, 2019)。以數據驅動(Data-Driven)的風險評估方法不僅在成本上更具效益，而且在人力使用和時間上更加地有效率。管網若完成校正、優化和驗證程序，即可以使用風險評估演算法進行分析，並可持續監測管網系統，過程幾乎不需要手動干預。

¹ 臺北自來水事業處技術科 科長

² 臺北自來水事業處技術科 一級工程師

³ 臺北自來水事業處供水科 三級工程師

⁴ 台灣世曦工程顧問股份有限公司地理空間資訊部 副理

⁵ 台灣世曦工程顧問股份有限公司水與環境工程部 計畫工程師

* 通訊作者, E-mail: paradise1271@water.gov.taipei

收到日期：民國 114 年 01 月 02 日

修改日期：民國 114 年 05 月 29 日

接受日期：民國 114 年 09 月 15 日

目前，在管線的定性評估研究上，研究者主要都是利用以機器學習為基礎的風險評分方式(Vanitha *et al.*, 2023)進行計算。然而，這種研究方法僅考慮管道的屬性和環境因素，而沒有考慮到受影響用戶的數量(Mehr *et al.*, 2020、Vanitha *et al.*, 2023)。

水力模型分析的目標是模擬水壓、流量，並預測供水分區管網內的變化。水力分析對於自來水的傳輸、配送及管理維護，是一項重要的技術或工具(Pietrucha-Urbanik & Tch'orzewska-Cie'slak, 2018)。美國環境保護署所開發的(EPANET)則是目前全球最常使用的水理分析工具，是一項免費提供的軟體元件。主要使用的方向在模擬水配管系統的水質和水理行為(Shiu *et al.*, 2022 及 2023)。EPANET 可計算受影響的節點，再利用管網連接關係將用戶數據分配給節點，即可得到受影響的用戶。可以進行更詳細的評估管道損壞的影響範圍，為管道風險評估提供了額外的模式(Boryczko *et al.*, 2021)。

本研究主要將水力分析應用於三個工程實務面向，第一階段：施工影響分析以臺北自來水事業處現有自來水管網架構為基礎，惟該基礎管網未涵蓋壓力與流速資訊，需透過水力分析以獲取相關數值，進一步藉由分析施工前後壓力差異，辨識施工期間可能受影響之區域與用戶範圍，以作為後續管理與調度之依據。第二階段：管網規劃設計應用，依據小區範圍，先利用智能斷水的空間計算，找出封閉該小區所需關閉的邊界閥，再依據其邊界閥位置的啟閉，來找出最佳進水點位置。第三階段：透過多時段模型資料進行時序性分析，可模擬管網水齡分布及物質擴散行為，以評估管網水質狀況，進而確保供水範圍內用戶用水之安全。利用自來水智慧化管理、水力分析及地理資訊系統(Geographic Information System, GIS)於工程實務的應用，這不僅能動態量化自來水管線可能影響的用戶規模，還能將複雜的分析結果精準反饋到每條管線，提供專為臺北自來水事業處量身定制的管理方案。這一模式不僅能大幅提升維護管理效率，還可為管線汰換決策提供可靠的數據支持，從而實現精細化管理。

2. 水力分析

2.1 水力模型定義

(1)靜態(Static)模型

又稱 Single-Period Analysis Model(單時段分析模型)，本階段模型僅針對單一瞬間值模擬，如於某一時間點固定水壓及流量資料(最大、最小或平均值)以模擬供水分區對應時間點的演算結果。

(2)動態(Dynamic)模型

又稱多時段模型 Extended-period analysis model(多時段分析模型)，本階段動態模型即針對連續時段(至少 24 小時)之模擬，如以至少 24 小時供水量、水壓及供水分區內各點需水量等資料模擬系統內各點長時間連續性的水壓、流速、流量或水質等結果。

(3)擬真(Live)模型

又稱為 Simulation modeling，具有離線批次輸入歷史數據進行仿真及優化演算功能，本階段係北水處為達即時模型之階段性模型，以多時段(動態)模型為架構研究如何介接北水處資料，並模擬試作介接後之成果(介接資料可為預設非即時)。

(4)即時(Real-time)模型

又稱為 On-line predictive modeling，具有介接 SCADA 在線數據，演算當下及預測未來的系統功能，此階段模型將自動化於每隔固定時段即擷取北水處系統場站水壓及流量資料後，自動運算出各時段監測值所應有的正常值，若偏離正常值的時間及數量超過一定的值時，系統即自行發出通知，並配合此模型以運用在自來水管網於北水處圖台界面上(WebGIS)即可進行各種自動及人工智慧化行為，如即時或計畫性施工停水影響區域分析、漏水警示、規劃、設計及調配方案等加值模擬應用。

2.2 水力分析原理

本研究在水理分析應用上，因管徑突縮突擴、彎曲段、閘門段屬水頭次要損失，其影響性遠小於水頭主要損失，因此本研究將次要損失內化至管壁磨擦係數 C 值一併考量，並隨著管齡老化而下降。

操作關閥時產生水錘造成之損失，屬於短時間之水頭振盪(5~30 分鐘內)並且屬小範圍之影響，多於高程落差較大之區域以特例方式研析，本研究主要係針對小區封閉後長時間水力分析，故暫不納入考慮。如現場採閥開度控制，則以管徑、開度與之關係換損失係數代入模型中。相關原理說明如下。

(1)壓力管線能量守恆定律

根據能量守恆定理，對於不可壓縮流體(如水)在壓力管網中的流動，若考慮理想條件，流體在系統中的總能量應保持不變。

如圖 1 流體在管內輸送過程中，從上游 A 點到下游 B 點，其總水頭(包含壓力水頭、速度水頭和位置水頭)理論上應相等。然而，實際情況中，由於管道內壁的摩擦力以及局部阻力(如閥門、彎頭等)會消耗部分能量，導致能量損失。這種能量損失表現為水頭的降低，即沿管線流動時水頭呈現出逐漸下降的趨勢，形成能量坡降。能量坡降曲線顯示出流體在管網中傳輸的能量損失大小，曲線的斜率由摩擦係數、流速和管道材料等決定。

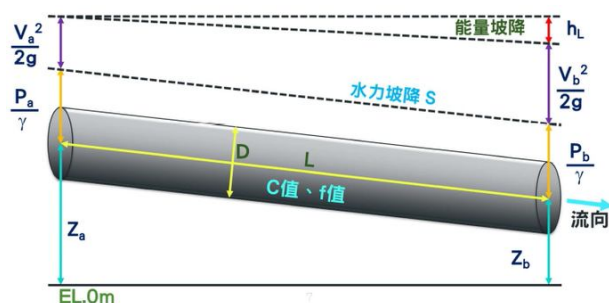


圖 1 壓力管線能量坡降示意圖

(2)海森-威廉公式

當水在管線中流動時，由於水與管壁之間的摩擦作用，會導致部分能量轉化為熱能或其他形式的損耗，造成水頭能量的損失。這種現象在工程中被稱為水頭損失，尤其是在長距離管線中特別顯著。在自來水壓力管網的水力分析中，準確評估水頭損失對於管網設計和運行效率具有關鍵作用。其中，海森-威廉(Hazen-Williams)公式是最常用的經驗公式之一，用於估算由管道摩擦引起的水頭損失。該公式依賴於管道的內徑、流速以及管材摩擦係數(海森-威廉係數)，後者與管道材質及內壁光滑程度有

關。公式形式為：

$$h_f = \frac{10.66 L Q^{1.85}}{C^{1.83} D^{4.87}} \dots\dots\dots (1)$$

h_f ：管道長度上的水頭損失(以 m 為單位)

Q ：體積流量(SI 單位為 m^3/s)

C ：管線粗糙係數(依照 Hazen-Williams formula 標準)

L ：管長(以 m 為單位)

D ：管徑(以 m 為單位)

(3)管材摩擦係數(海森-威廉係數 C 值)

管材摩擦係數是評估管線內水流摩擦損失的重要參數，其數值需通過實驗測得，並根據不同管線材料的特性而異。一般而言，管材摩擦係數越高，表示管內壁越光滑，所引起的摩擦損失相對較小；反之，摩擦係數越低，則代表管內壁粗糙度增加，造成更大的能量損失。以鑄鐵管為例，全新鑄鐵管的摩擦係數約為 130，表現出較好的水力性能。然而隨著使用年限的增加，管內壁會逐漸因腐蝕、沉積物堆積以及結垢等因素變得粗糙，使得摩擦係數降低。由研究顯示，30 年以上的鑄鐵管經過實驗測得摩擦係數平均約為 82.5，這種變化對水頭損失影響較大，需在管網設計與運行管理中加以考量，特別是在老舊管線的維護與管理時，摩擦係數的變化將直接影響系統的輸送效率和壓力分佈，如表 1。

表 1 海森-威廉係數 C 值隨管齡變化

使用年限	C 值
全新	130
5 年	120
10 年	110
20 年	90~110
30 年	75~90
30 年以上	82.5

(4)管線及閥損失係數計算結果

以下列出於流量 10,000CMD 的條件下，輸水管線管徑 500 mm 在不同海森-威廉係數 C 值之單位管長損失係數，以及制水閥閥徑 500 mm 在不同開度下計算損失係數如表 2 所示。

表 2 管線及閥損失係數計算結果

輸水管線 500mm 管徑		制水閥閥徑 500mm	
C 值	單位管長損失係數(m/km)	開度	損失係數(m)
130	0.70	90 度	0.00
120	0.81	80 度	0.01
110	0.95	70 度	0.02
100	1.14	60 度	0.05
90	1.38	50 度	0.12
82.5	1.62	40 度	0.30
		30 度	0.93
		20 度	5.92
		10 度	456.30

2.3 水力分析工具

EPANET 是由美國環境保護署 (U.S. Environmental Protection Agency, EPA) 開發的一款開源水力分析計算軟體，免費提供公眾使用。該軟體具備基本的水力分析功能，並採用開放式架構設計，允許使用者根據個別應用需求開發額外的套件與功能。EPANET 可讀取的 INP 格式檔案以純文字形式儲存，其內容結構分為五大類，共包含 27 種屬性。五大類內容簡述如下：

- (1) 管網組件：表示模型中構成水力系統的基本元件。
- (2) 系統運行參數：用於控制管網組件在模型中的操作行為。

(3) 水質相關參數：僅在進行水質模擬分析時需要設定的屬性。

(4) 選項與報表：定義模擬類型(如單時段或多時段模擬)的設定參數，並描述分析結果的輸出格式。

(5) 地圖與標籤：提供節點坐標、標籤坐標與描述內容，以及背景底圖的資訊。

根據 EPANET 之文件說明，如表 3 所示，為將空間資料轉換為 INP 檔案，管網組件構成水力模型的基本元件，其內容說明如下。

INP 檔案主要包含的基本元件包括管線(Pipes)、節點(Junctions)、閥(Valves)、水庫(Reservoirs)、水池(Tanks)以及標籤(Labels)。這些元件構成水力模型的核心結構，並支持用戶進行水力與水質模擬分析。此外，模型的基本屬性與水力資訊設定採用 EPANET 的預設值，其中：

- (1) 水量單位：立方公尺/天(Cubic Meters per Day, CMD)。
- (2) 水頭損失公式：採用 Hazen-Williams 公式進行計算。

以下圖 2 和圖 3 為 INP 檔案的結構與內容，提供了模型定義的實際範例。這些範例展示了如何在 INP 檔案中組織與儲存模型元件及其相關參數，為進一步的水力模擬與分析提供基礎。

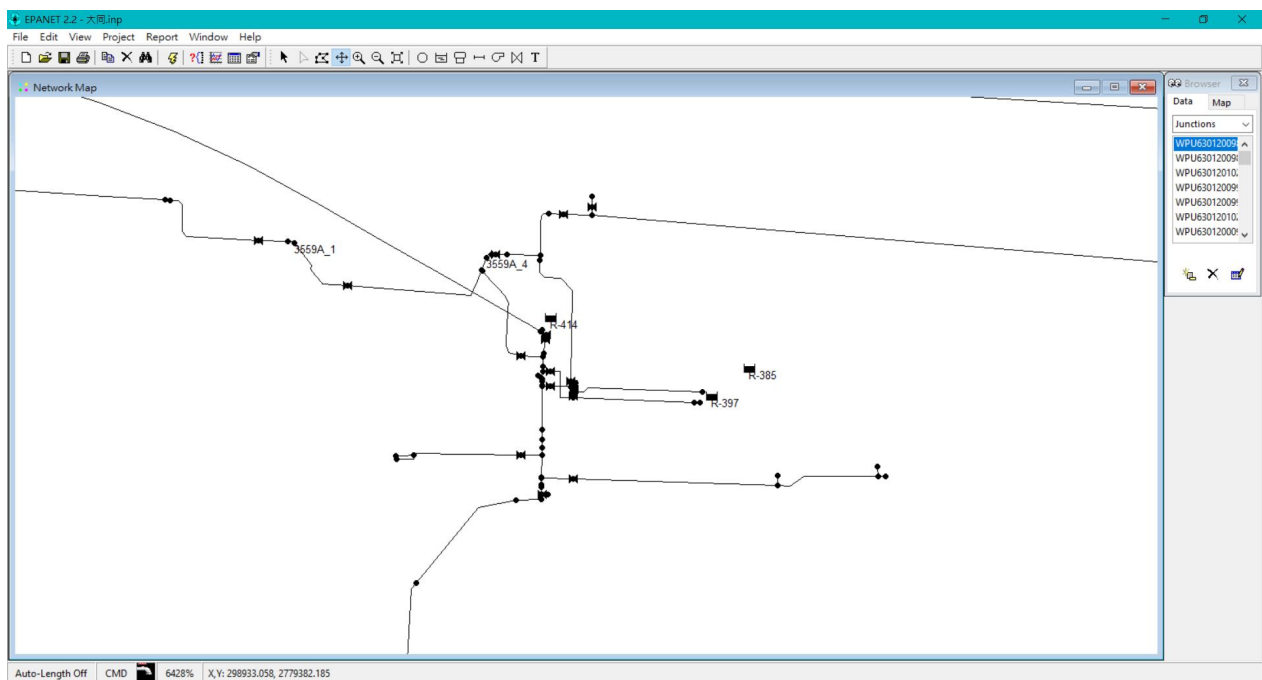


圖 2 INP 檔開啟示意圖

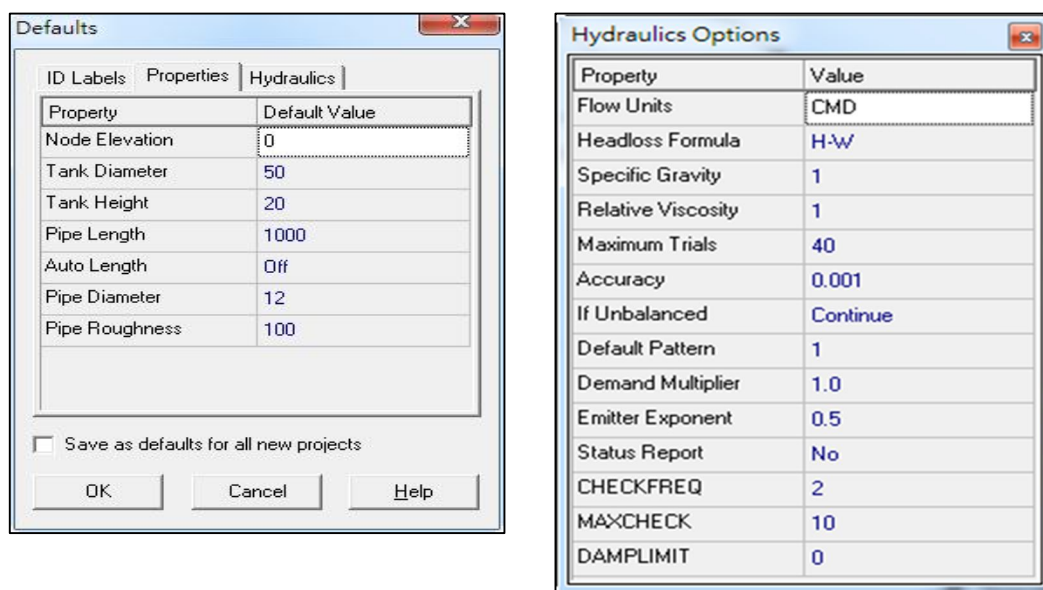


圖 3 INP 檔基本設定範例圖

表 3 INP 檔案結構分類表

管網組件	系統運算	水質	選項/報表	管網地圖
TITLE JUCTIONS RESERVOIRS TANKS PIPES PUMPS VALVES EMITTERS	CURVES PATTERNS ENERGY STATUS CONTROLS RELES DEMANDS	QUALITY REACTIONS SOURCE MIXING	OPTIONS TIMES REPORT	COORDINATES VERTICES LABELS BACKDROP TAGS

復水操作閥之順序，使用說明如下。

A. 選擇管線

使用者可於平台介面上針對欲修復之管線進行圖面點選，以作為後續分析與模擬之輸入資料來源(如圖 4 所示)。

B. 啟動智能斷水作業

智能斷水分析功能可提供完整之斷水方案模擬，並自動建議分階段應關閉之制水閥位置，以協助現場人員於最短時間內完成關閉作業，作為應變處置及管網管理之參考依據，如圖 5 所示。

C. 計算壓力變化

於決定關閉之制水閥位置後，因基礎管網資料未涵蓋壓力與流速資訊，需透過水力分析自動計算各節點壓力變化值，或進一步分析施工前後之壓力差異，以界定施工期間可能受影響之區域與用戶範圍。此結果可用以判別受影響之路段範圍，並統計停水影響用戶數量，作為停水管理及應變調度之依據，如圖 6 所示。

3. 實務應用

3.1 施工影響分析

(1) 方法說明

目前於臺北自來水事業處的自來水智慧化管理中，已有智慧斷水追蹤功能，使用者選取停水之管段後，可自動追蹤所須關閉之閥類，惟關水區域外水壓、水流方向的變化，則無法立即掌握，在供水分區模型建置完成後，可將水力分析成果套入，應用水力分析函式庫，自動運算關閉相關閥類後之節點壓力變化，可計算出影響路段及用戶數量，亦可於水力分析平台上顯示水流方向。在進行計畫性施工案件或突發性事件時，使用者可於水力分析平台點選欲施工或搶修之管段後，系統自動分析產出影響範圍內外的水壓及水流方向，透過分析結果，系統自動比對關閉前後差異，亦可匯出相關統計資料，以利分處同仁預先了解影響範圍及先行研判停

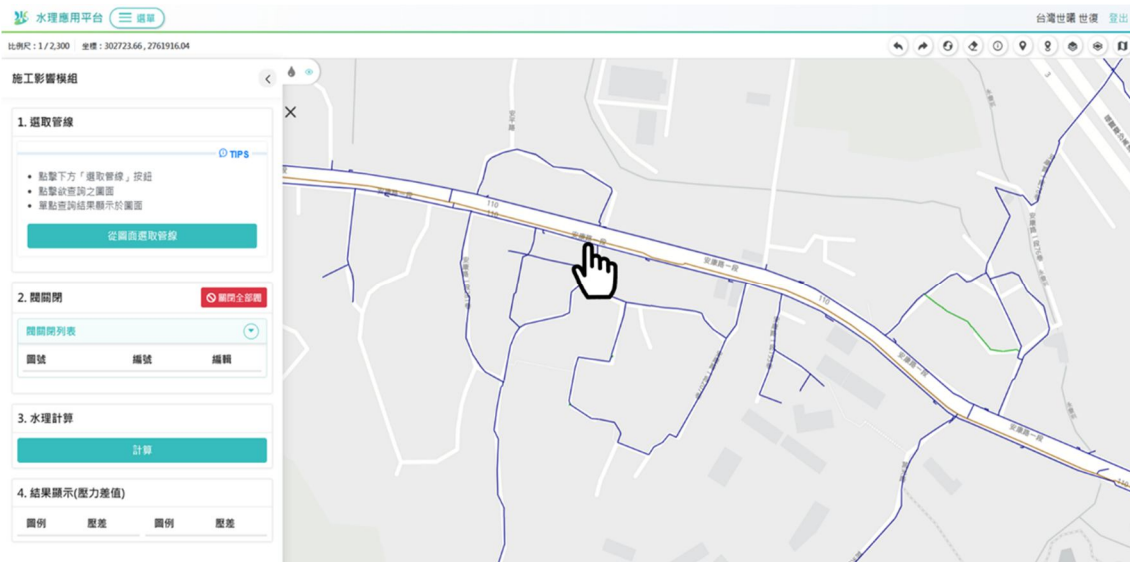


圖 4 選取管段圖



圖 5 智慧化找出閘關閉位置圖



圖 6 顯示施工影響水壓變化成果圖

(2)案例情境

112 年 9 月 7 日，臺北市大直地區因基泰建設工程「連續壁強度不足」，導致鄰近民宅地基掏空，引發建物沉陷，原二層樓住宅瞬間下陷成一層樓高度，造成重大公共安全事件。利用智慧斷水功能及水力分析分析結果研判，為控制漏水狀況，緊急關閉相關制水閥進行止漏，如圖 7 所示，且當地將產生無水的情形，造成大直街 94 巷 1 弄 1 至 29 號及 3 弄 12 至 30 號共計 219 戶停水，並調派水車供應居民臨時用水。事件顯示施工安全管理與公共管線保護之重要性，亦凸顯都會區施工對周邊基礎設施及民生用水影響之風險。

(3)結果驗證說明

當現場發生漏水或爆管事件時，智能斷水分析功能可提供完整之斷水方案模擬，並自動建議分階段關閉之制水閥位置，協助現場人員在最短時間內完成關閉作業，以縮小停水影響範圍並降低民眾不便。同時，可依據水力分析成果統計受影響用戶，未來得以主動推播停水訊息予用戶，使民眾即時掌握停水資訊，提升供水單位服務效率與資訊透明度。

3.2 網管規劃設計

(1)方法說明

北水處目前已規劃 834 個小區，但由於都市快速發展及部分小區建置時間較久，原先設置的進水點已無法完全滿足當前需求。因此，規劃人員可藉由管網規劃設計功能，針對小區內的不同進水點進行多種設定組合，並通過水力分析結果，協助評

估小區劃設的可行性以及進水點的最佳位置。

在實際操作中，當發現單一進水點無法滿足小區的供水需求時，規劃人員可在該小區的水理模型中新增進水點，進行模擬分析，以提升供水能力並確保系統穩定性。同時，系統還可針對選定的小區範圍及進水點位置進行自動化分析，評估小區內外的壓力與流速變化。這些數據可用來判斷小區封閉的可行性，並有效降低小區封閉失敗的風險。

透過上述規劃與分析方法，不僅能提高小區供水能力和系統穩定性，還能大幅提升工作效率，確保規劃決策的精確性，從而更好地滿足城市供水需求的多樣化挑戰。

(2)案例情境

A.選擇小區

本研究以 E12002 小區為示範案例進行方法驗證。首先，依據小區範圍進行區域邊界辨識，並透過智能斷水分析自動篩選需封閉該小區時應關閉之邊界閥位置，以確保在停水作業中能有效隔離目標區域，降低對周邊供水範圍之影響，作為後續水力模擬及受影響用戶統計之基礎，如圖 8 所示。

B.計算邊界閥

將 E12002 小區作為示範案例導入系統後，系統將依據小區範圍進行區域邊界辨識，並透過智能斷水分析自動篩選封閉該小區時應關閉之邊界閥位置。本案例共識別出 8 筆應關閉之閥件，包括：4551C-5、4451D-15、4451D-16、4451A-10、4452B-1、4452B-13、4452C-25 及 4551C-38(如圖 9 所示)。



圖 7 施工影響水壓變化案例圖

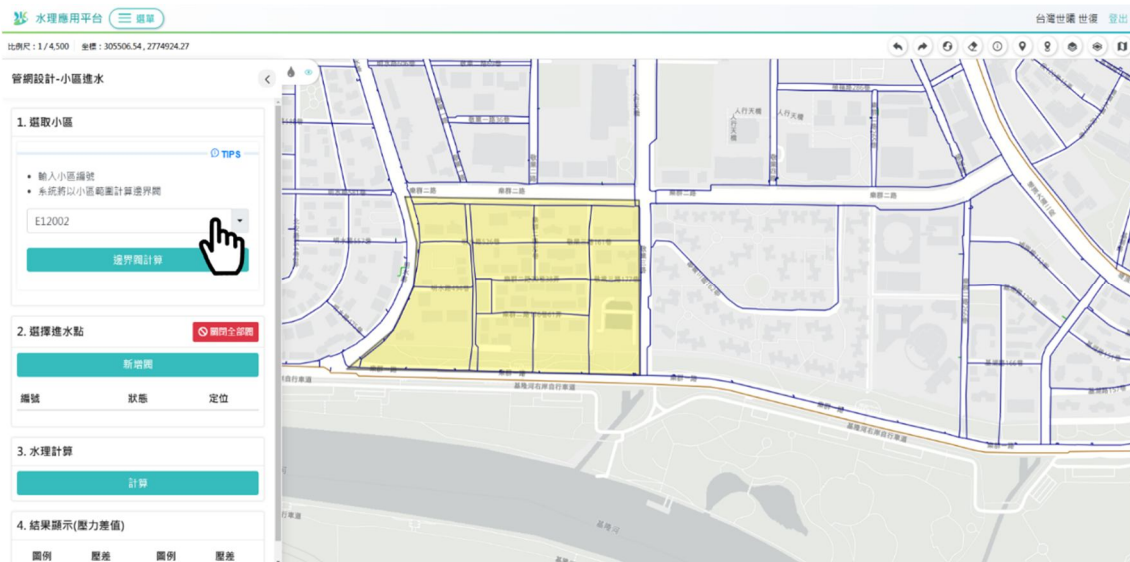


圖 8 以小區範圍找出閘關閉位置圖

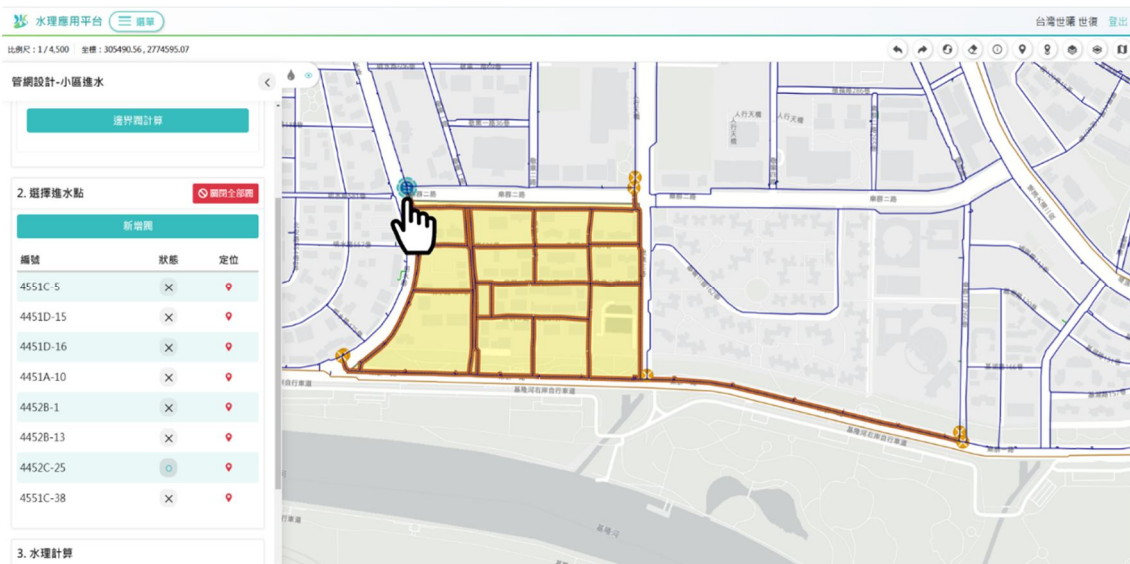


圖 9 設定進水點位置圖

C. 設定進水點

選擇特定閘件進行開啟後，系統可即時執行線上水理計算，並於平台介面上顯示進水點開啟後之水壓變化情形，以供使用者即時掌握系統恢復供水後之壓力分布狀況(如圖 10 所示)。

並可利用供水恢復前後條件進行比較，以顯示各節點壓力差異變化情形，如圖 11 所示。

(3) 結果驗證說明

以 E12002 小區為例，藉由表 4 各進水點的結果顯示，如採 4551C-5 制水閘位置進水，則供水小區內壓力為最差，其次為 4451A-10 制水閘位置；最佳進水點位置為 4451D-16 制水閘，有 26%以上之

節點壓力可達 2 kg/cm^2 以上。

3.3 節點溯源分析

為深入了解各節點的水源比例，可利用水理分析計算出每個節點中來自不同加壓站的混合比例，並進一步追溯水源的路徑。系統不僅能自動分析水流的來源，還可生成水流路徑的可視化足跡圖，並將結果顯示於即時水理監控平台上，方便操作人員快速查閱與分析。該方法對於提升水理系統的管理效率和透明度具有重要意義。具體作業方法簡述如下：利用 EPANET 提供的溯源分析(Trace Analysis)功能，該功能可精確計算各節點或管段的水源比例。分析中，來源可以被指定為單一的特定節點(如加壓

站或水庫)，也可以是多个水源節點的組合。溯源分析結果不僅能幫助辨識各節點的水源貢獻度，還能協助追蹤可能的污染來源或進行水質改善策略的規劃，如圖 12 所示。

此外，透過結合即時水力平台，分析結果可動態更新並以圖形化方式呈現，包含水源分布、流向

路徑與混合比例等資訊，進一步提高操作的便利性與精確性，如圖 13 所示。

同時透過隨時間變化的多時段分析，模擬管網水齡分布、物質擴散預測，可評估管網水質情形，確保供水範圍內用戶用水安全，如圖 14 所示。

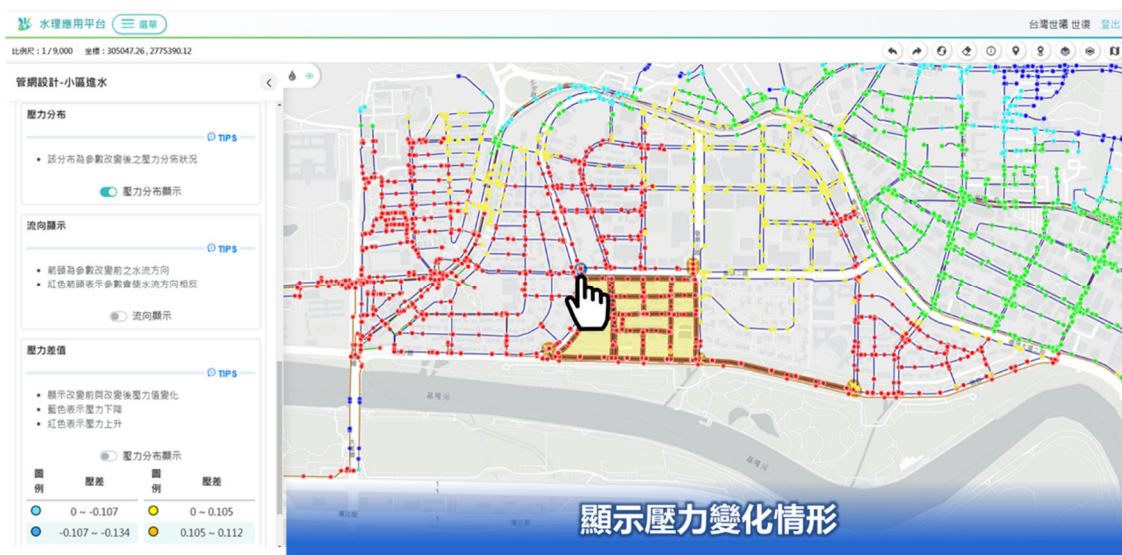


圖 10 顯示設定進水點後壓力變化情形



圖 11 顯示設定進水點壓力前後變化情形

表 4 E12002 小區最佳化進水點的結果分析比較表

閘位置	<1.6kg/cm ²	1.6~1.7kg/cm ²	1.7~1.8kg/cm ²	1.8~1.9kg/cm ²	1.9~2.0kg/cm ²	≥ 2.0 kg/cm ²
4551C-5	29%	71%	0%	0%	0%	0%
4451D-15	0%	0%	0%	45%	55%	0%
4451D-16	0%	0%	0%	1%	73%	26%
4451A-10	26%	74%	0%	0%	0%	0%
4452B-1	0%	0%	65%	35%	0%	0%
4452B-13	0%	6%	78%	15%	0%	0%
4452C-25	0%	0%	54%	46%	0%	0%
4551C-38	0%	28%	72%	0%	0%	0%



圖 12 顯示最大流量路徑圖及水源百分比



圖 13 顯示管段內水流行經方向

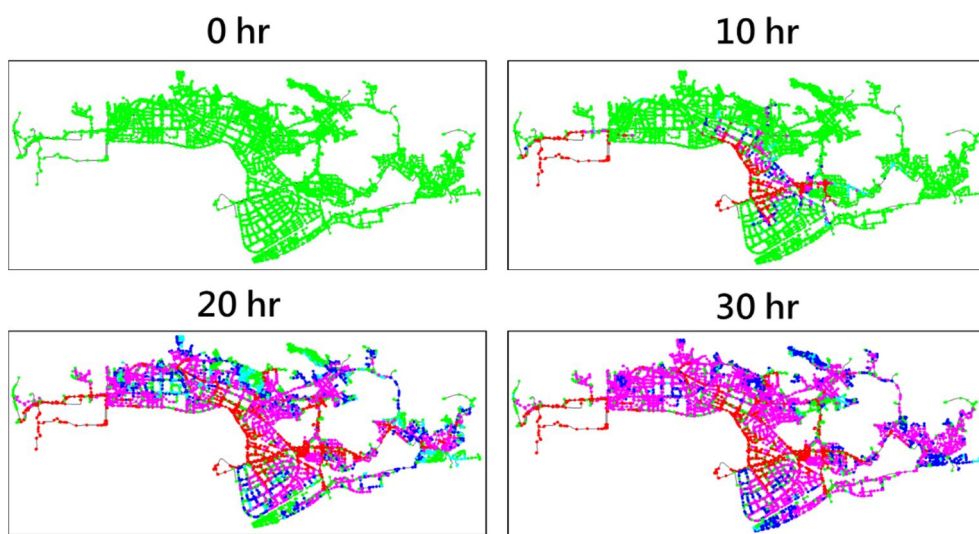


圖 14 管網餘氣隨時間擴散示意圖

3.4 與航遙航測資料整合應用

傳統水力分析系統多以平面二維圖資為主要呈現方式，雖能提供一定程度之操作資訊，然在複雜事件情境下，其空間解析與視覺輔助能力仍有限。隨著三維建模技術與遙航測資料處理之進展，包含正射影像、LiDAR 點雲與建物模型等高精度資料之取得與應用日益成熟，現今已具備整合三維模型與水力分析成果之條件，可有效強化災害應變與營運管理的即時判斷力。

在颱風期間或其他突發事件發生時，臺北自來水事業處會立即啟動緊急應變中心(Emergency Operation Center, EOC)，並依據實際狀況發佈相關通報案件。此期間，可能因管網調度需求出現區域性加壓或減壓的情形。過往此類事件之呈現主要仰賴二維圖面與文字描述，對於空間變化與立體環境理解較為抽象。

未來透過結合三維城市模型(如 CityGML 或 BIM)、水力模擬成果(如壓力場分佈、流量變化模擬)、以及遙航測資料(例如 LiDAR 所建構之地形與建物模型)，可建構出立體化、動態化的視覺操作介面。此一整合平台不僅能即時展示管線壓力變動與異常熱區，亦能結合時間序列動畫模擬供水行為，輔助 EOC 人員進行空間決策與風險評估，有效提升

災害應對之效率與準確性，如圖 15 所示。

4. 結論與建議

本研究結合自來水智慧化管理技術與水力分析模型，並應用 GIS 技術導入工程實務應用，為北水處提供了一套高效且精準的工具，用於支援工程施工的精緻化智能管理。透過智慧化管理系統，北水處能夠即時監控管網的運行狀態，並利用水力分析進行深入的數據解析，預測工程施工對供水系統的潛在影響。

北水處自民國 106 年起建立臺北自來水智慧化資訊管理系統(Water Intelligent System of Enterprise, WISE)，藉由 GIS 資訊技術導入及圖資拓模連結性的重整，可即時轉出水理模型所需基礎資料，利於水力模型建立、校正、模擬及分析作業，獲得良好成效。且當有數據異常時，可即時於地圖顯示，結合追蹤分析，讓監控中心同仁於系統可瞭解影響所及範圍，進行輔助決策，同時若有發生水壓不足時，亦可即時預警，降低災害風險。該系統的應用範圍涵蓋施工期間的供水模擬、壓力分布預測，以及水質可能受影響的範圍評估。同時，系統能自動生成最佳化的施工方案，並提供多種進水點組合模擬，以確保在施工過程中仍能維持穩定的供水服務。



圖 15 水力分析與航遙航測資料整合應用示意圖

此外，智慧管理系統還具備即時預警功能，當施工引起的壓力或流速異常達到預設門檻時，系統將立即發出警示，協助管理者快速調整方案，減少供水中斷或水質異常的風險，當發生爆管漏水時，監工透過行動裝置，結合智能斷水追蹤功能，自動計算停水影響範圍，可確認需關閉開關及受停水影響用戶統計，加速漏水處理，避免災情擴大。這種智能化的管理方式不僅提升了施工期間的作業效率，也顯著降低了供水系統因施工而導致的運行風險，為自來水工程的現代化管理樹立了新的標竿。

參考文獻

- Boryczko, K., Piegdoń, I., Szpak, D., and Żywiec, J., 2021. Risk assessment of lack of water supply using the hydraulic model of the water supply, *Resources*, 10(5): 43, DOI: 10.3390/resources10050043.
- Cen, H., Huang, D., Liu, Q., Zong, Z., and Tang, A., 2023. Application research on risk assessment of municipal pipeline network based on random forest machine learning algorithm, *Water*, 15(10): 1964, DOI: 10.3390/w15101964.
- Creaco, E., Campisano, A., Fontana, N., Marini, G., Page, P.R., and Walski, T., 2019. Real time control of water distribution networks: A state-of-the-art review, *Water Research*, 161: 517–530, DOI: 10.1016/j.watres.2019.06.025.
- Henriques-Silva, R., Duchesne, S., St-Gelais, N.F., Saran, N., and Schmidt, A.M., 2021. On-line warning system for pipe burst using bayesian dynamic linear models, *Water Resources Research*, 59(4): e2021WR031745, DOI: 10.1029/2021WR031745.
- Li, R., Huang, H., Xin, K., and Tao, T., 2015. A review of methods for burst/leakage detection and location in water distribution systems, *Water Supply*, 15(3): 429–441, DOI: 10.2166/ws.2014.131.
- Mehr, A.D., Tas, E., and Kahya, E., 2020. Risk assessment of fuel supply pipelines: Kalecik power plant case study, *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 11(4):05020005, DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000496.
- Page, P.R., Zulu, S., and Mothetha, M.L., 2019. Remote real-time pressure control via a variable speed pump in a specific water distribution system, *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 68(1): 20–28, DOI: 10.2166/aqua.2018.074.
- Pietrucha-Urbanik, K., and Tchórzewska-Cieślak, B., 2018. Approaches to failure risk analysis of the water distribution network with regard to the safety of consumers, *Water*, 10(11): 1679, DOI: 10.3390/w10111679.
- Rezaei, H., Ryan, B., and Stoianov, I., 2015. Pipe failure analysis and impact of dynamic hydraulic conditions in water supply networks, *Procedia Engineering*, 119: 253–262, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.08.883.
- Shiu, C.C., Chiang, T., and Chung, C.C., 2022. A modified hydrologic model algorithm based on integrating graph theory and gis database, *Water*, 14(19): 3000, DOI: 10.3390/w14193000.
- Shiu, C.C., Chung, C.C., and Chiang, T., 2023. Enhancing the epanet hydraulic model through genetic algorithm optimization of pipe roughness coefficients, *Water Resources Management*, 38(1): 323–341, DOI: 10.1007/s11269-023-03672-0.
- Ullah, I., Fayaz, M., and Kim, D., 2018. Analytical modeling for underground risk assessment in smart cities, *Applied Sciences*, 8(6): 921, DOI: 10.3390/app8060921.
- Vanitha, C.N., Easwaramoorthy, S.V., Krishna, S.A.,

- and Cho, J., 2023. Efficient qualitative risk assessment of pipelines using relative risk score based on machine learning, *Scientific Reports*, 13(1): 14918, DOI: 10.1038/s41598-023-38950-9.
- Wang, X.T., Guo, G.C., Liu, S.M., Wu, Y.P., Xu, X.Y., and Smith, K., 2020. Burst detection in district metering areas using deep learning method, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 146(6): 04020031, DOI: 10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001223.
- Zhou, X., Tang, Z., Xu, W., Meng, F., Chu, X., Xin, K., and Fu, G., 2019. Deep learning identifies accurate burst locations in water distribution networks, *Water Research*, 166: 115058, DOI: 10.1016/j.watres.2019.115058.

Integration of Smart Water and Hydraulic Models in Construction Management

Yu-Tai Huang¹ Chin-Ling Huang² Cheng-Hung Li^{3*} Chia-Cheng Shiu⁴
Hsun-Jung Chen⁵

Abstract

The importance of urban water resource management is increasing, requiring advanced tools to support operations and decision-making. This study integrates artificial intelligence, hydraulic modeling, and geographic information systems to enhance analysis and overcome the limitations of traditional approaches in assessing affected users. Focusing on Taipei's water distribution network, the framework applies three key practices. First, construction impact analysis identifies service areas and households affected by pipeline replacement, enabling accurate planning and communication. Second, network planning and design use smart isolation techniques by controlling boundary valves to determine the optimal inflow point and improve water distribution efficiency. Third, multi-period source tracing applies dynamic hydraulic modeling to quantify water source proportions at each node and track major flow paths across time. This integrated methodology provides a powerful means to dynamically evaluate user impacts and precisely map results to individual pipelines. For the Taipei Water Department, it offers tailored management strategies that improve maintenance efficiency, strengthen decision support for pipeline renewal, and advance sustainable, data-driven water management.

Keywords: Hydraulic Model, Geographic Information System, Trace Analysis, Network Planning and Design, Smart Water

¹ Division Chief, Taipei Water Department

² Executive Engineer level 1, Taipei Water Department

³ Executive Engineer level 3, Taipei Water Department

⁴ Assistant Manager, Department of Geomatics, CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

⁵ Planning Engineer, Department of Geomatics, CECI Engineering Consultants, Inc., Taiwan

* Corresponding Author, E-mail: paradise1271@water.gov.taipei

Received Date: Jan. 02, 2025

Revised Date: May 29, 2025

Accepted Date: Sep. 15, 2025