

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

The Novel Idea and Implementation of Groundwater Management
in the Era of IoTs

逸奇工程

陳宇文 博士 (Dr. Yu-Wen Chen)

執行長





- 前言
- 地下水物聯網
 - 系統架構
 - 感知基礎建設
 - 抽水監控介面
 - 大數據分析-可用水量推估與水權管理
 - 大數據分析-地下水情預測
- 結論



前言



物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 物聯網(Internet of Things, IoTs)世代已經來臨。
 - Def: 建構一個使『物品 (Things)』能自動對電腦通信，物件本身彼此互通的世界。它以人類利益為服務要件。
 - 概念源自於比爾蓋茲(未來之路，1995)。迄今已23年。
 - 物聯網已改變目前的生活，深入每一個人的生活。

• 這些進步與想法，如何幫助目前的地下水管理作為？

• 將物聯網概念套用在地下水資源上。

穿戴裝置 (身體狀態)

eTag (電子收費)

物聯網世代地下水管理的新思維與實作



• 研究領域

- 地質調查：應用鑽探、地球物理或地球化學等技術，釐清地質狀態。如含水層與阻水層之分佈狀況，拘限與非拘限含水層之分別，與水文地質參數等。
- 水文分析：建立地表水文與地下水文之量化關聯，降雨與河川水位Vs.地下水位。
- 地下水資源管理：使地下水資源公平而靈活運用。(fair and flexible usage)
 - 不超抽濫用，也不佔而不用。



地質調查

Geology

水文分析

Hydrology

地下水資源管理

Water Resources
Management

物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 地下水管理的重要、困境與挑戰
 - 水資源為人類生存與產業發展的必需品。
 - 但全球暖化造成氣候變遷，極端降雨與旱象頻傳，地表水資源無法穩定供應。
 - 地下水資源在區域供水穩定性上扮演重要腳色。
 - 過度使用地下水(水位持續下降)，會造成地層下陷或海水入侵等環境衝擊問題。
 - 但關鍵水文地質參數不足，以數值模式精確推估地下水可用水量，具高難度(地下水資源潛藏地下，不確定性高)。
 - 無客觀資訊，作為管理單位水權核發依據
 - 難以實施先推估精確可用水量，再落實客觀水權核發之管理流程

取得足夠參數

建立可靠
模型

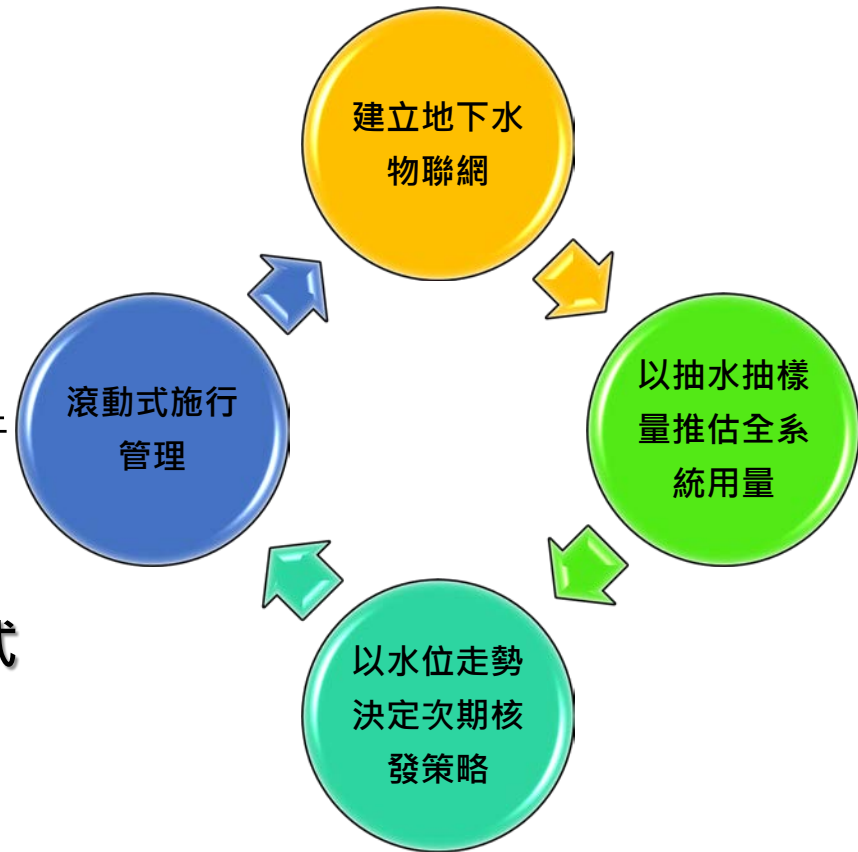
推估可用
水量

客觀水權
核發

物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 地下水管理的重要、困境與挑戰
 - 地下水管理目標：公平而靈活地運用有限的地下水資源。
 - 水權管理為其中重要的一環
 - 勿超抽濫用，但也勿佔而不用。
 - 以環境保護與產業發展雙贏為目標。
 - 建立**地下水物聯網**(紀錄地下水的現行使用與反應)。
 - Data-Oriented Management
 - 大數據分析: 擷取關鍵知識，採**滾動式管理**，逐步調整地下水使用狀態，逐步提升地下水管理成效。



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

系統架構



- 地下水物聯網(Internet of Groundwater, IoG)
 - 全面紀錄地下水的去向與反應，提出**高效**之管理方案。

前端感知面

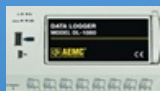
感知設備



- 電子水表



- 水位計



- 資料紀錄器(現場資料倉儲)

資料介接系統

- 高屏攔河堰與南化水庫
- 觀測網歷史地下水水位
- 長期氣象展望
- 水權資料庫

資料倉儲



- 關聯式資料庫



傳輸網路面

- 通訊網路(4G/NB-IoT)
- 網際網路

智慧需求面

大數據資料

管理

遠端監控管理系統
資料品質(QA/QC)

分析

統計分析模組
訊號分析模組
資料探勘模組

整合

長期監測
分析統計
模擬預測
決策支援
緊急應變
查詢瀏覽

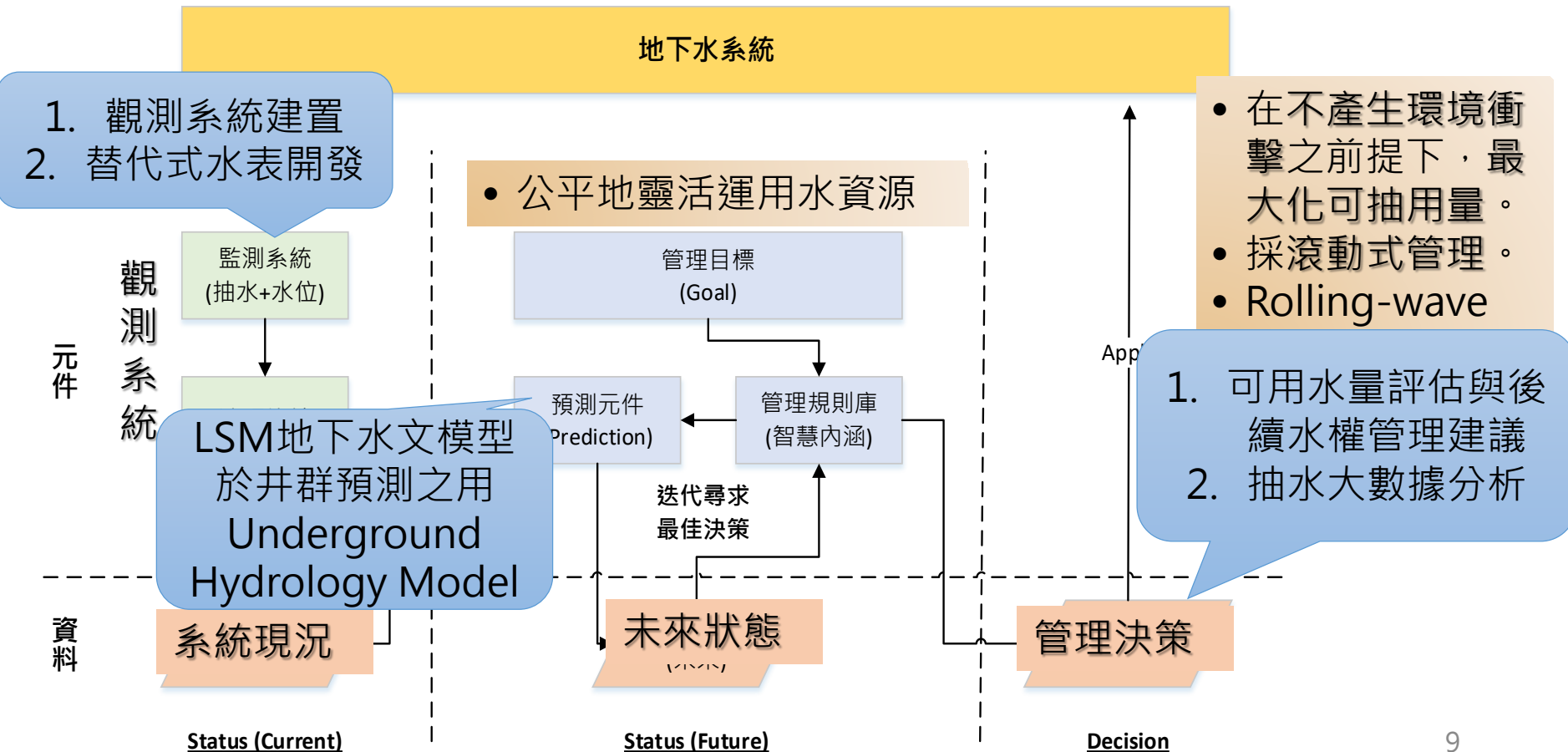
智慧管理平台

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

系統架構



- 地下水物聯網(Internet of Groundwater, IoG)
 - 全面紀錄地下水的去向與反應，提出高效之管理方案。



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

- 智慧管理平台：用於資料管理與展示、大數據離線分析與管理決策支援。



資料管理

- 資料倉儲 (抽水與水位)
- 外部資料介接 (含外部水文量與氣象資料等)
- 資料繪圖展示

管理支援

- 抽水量管控輔助介面

大數據分析

- 抽水資料數據分析 (分單井與水權人)
- 抽水洩降量化分析模組
- 地下水情預測模組
- 乾旱時期地下水庫蓄水量估算模組

- 大數據分析建構前述目標所需模式。
- 抽水管控輔助介面，作為水權人抽水管控，以主被動方式協助管理





地下水物聯網

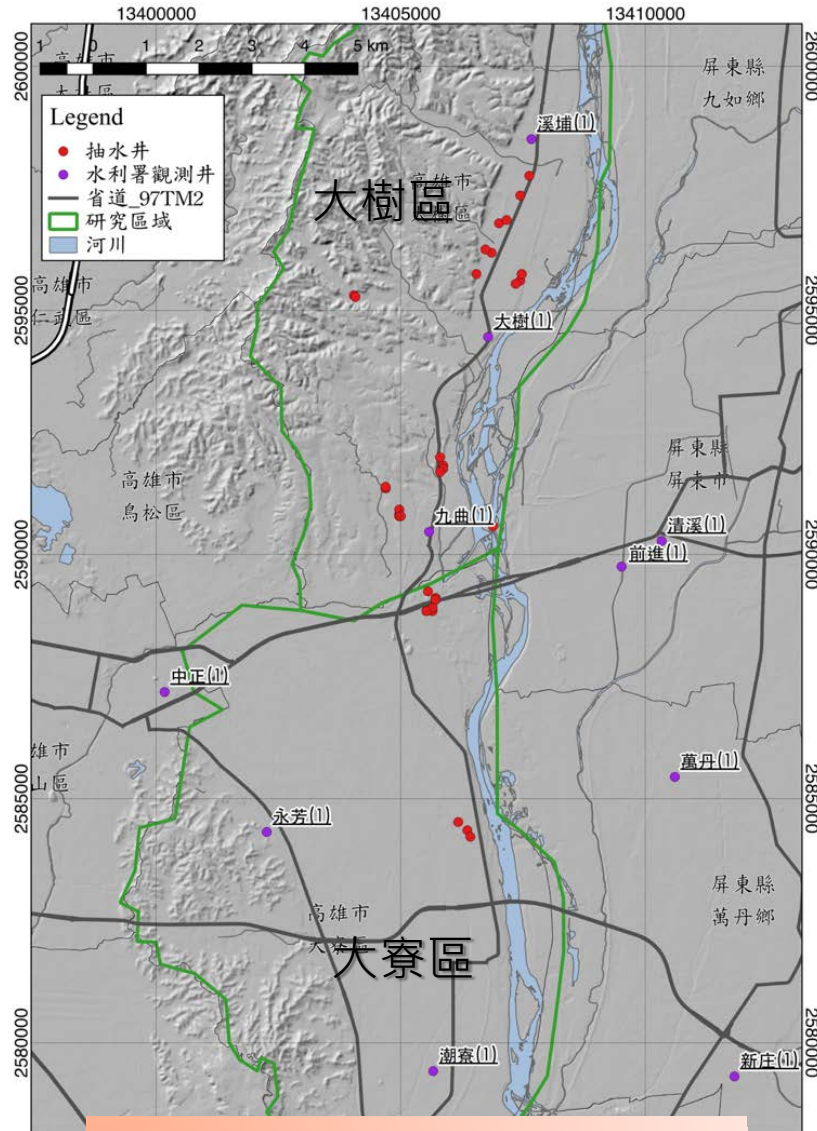
感知基礎建設

An Observation System



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

感知基礎建設

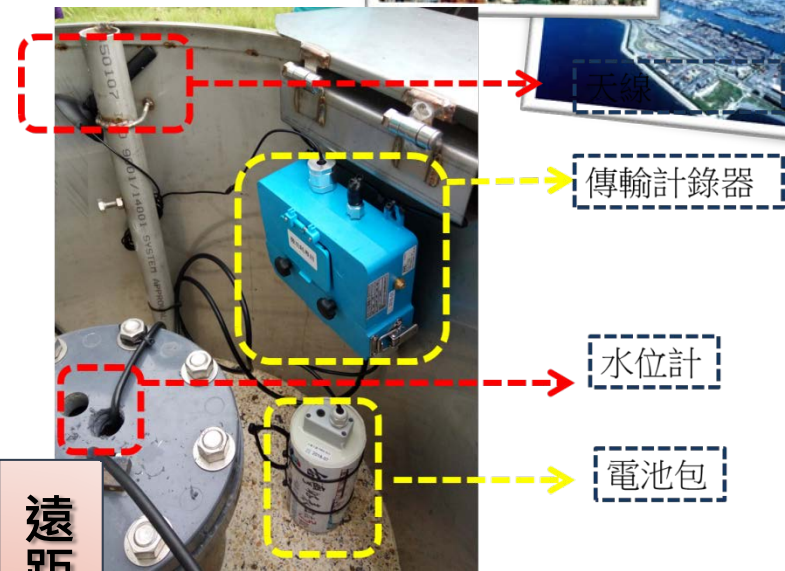


研究區域地圖

- 研究區域
 - 位於大樹區與大寮區。
 - 面積合計138平方公里。
 - 位於高屏溪右岸，鄰近高屏溪攔河堰。
 - 兩區水權核發總量41.47萬CMD。
- 抽水觀測: 50口大水權量工業與民生用井。
 - 分屬四個水權人。
 - 合計水權量15.37萬CMD(37.6%)
 - 抽樣比例具代表性。
- 水位觀測: 17口觀測井，環繞抽水井群。

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

感知基礎建設



水表

- 50口水表
- 17處水位計
- 67處遠距傳輸。



DP-1

遠距傳輸



106-7-19
箱公園1號

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

感知基礎建設



- 抽水觀測: 50 口大水權量工業與民生用井。
 - 佔本區水權量37.6%。
 - 抽樣比例具代表性。

水權核發量計算
月核發量 = 抽水瞬間量 X 時數 X 日數
日核發量 = 月核發量 / 30

	日核發量 ^a	水權井數	實際平均抽用量 ^a
高雄市水權核發總量	118.49	1,309	-
大樹大寮區核發總量	41.47		
大樹區&大寮區			
水權人#1	5.33	12	3.80
水權人#2	3.66	11	1.50
水權人#3	3.00	19	1.82
水權人#4	3.38	8	0.24
<u>小計</u>	<u>15.37</u>	<u>50</u>	<u>7.36</u>

^a單位：萬CMD



地下水物聯網

感知基礎建設-替代式水表研發

Alternatives of Flow Meter



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

替代式水表研發

前端感知面



柴油馬達



電力馬達

- 農業水井因產值低，並不適合裝設電子水表，應研發替代水表取代之。
- 常見抽水馬達，分別以柴油或電力作為動力來源。



柴油馬達



柴油馬達

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

替代式水表研發

前端感知面

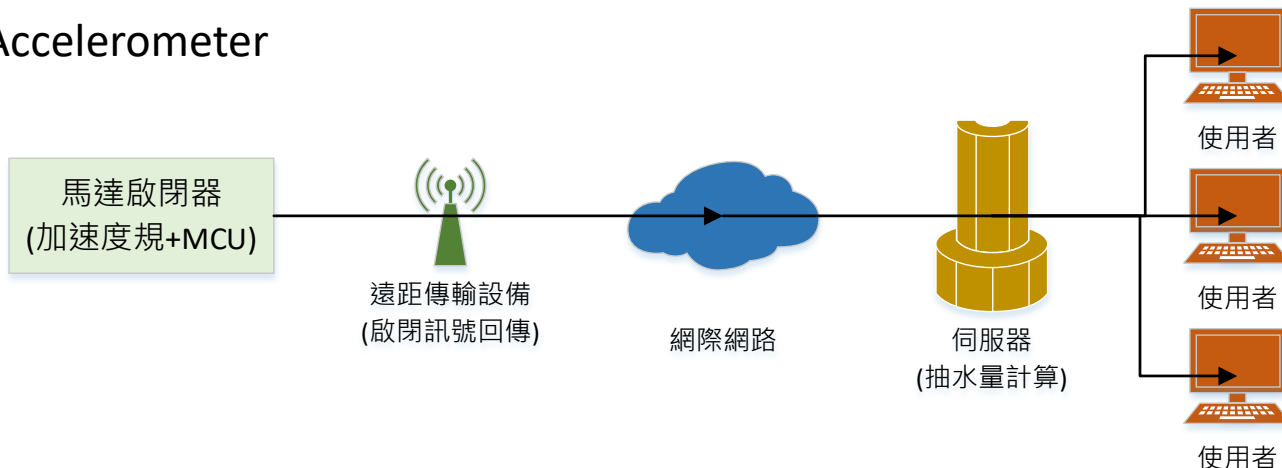


整體構想

- 現場率定：安裝時量測瞬間抽水量
- 硬體部分：偵測抽水馬達啟閉與抽水時間，並遠距回傳。
- 軟體分析：累積抽水量 = 抽水時間 X 瞬時抽水量



Accelerometer



裝設(抽水率定)

馬達啟閉偵測

抽水量計算

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

替代式水表研發

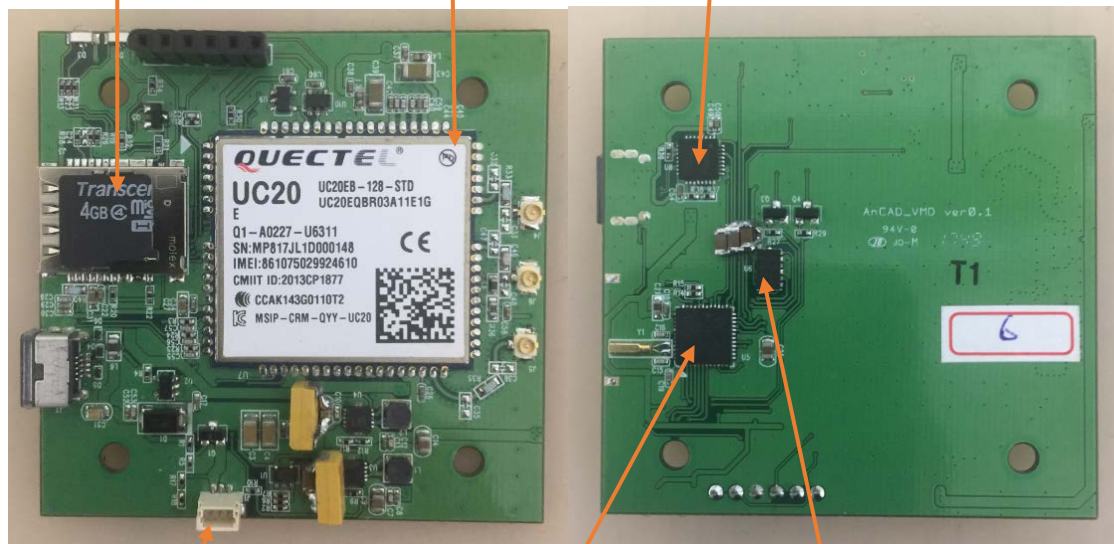
前端感知面



SIM / SD Card
記憶卡可儲存100萬筆
實時採樣及回報資料

GSM模組
每日00:00回報資料

串口監控升級



正面

背面

電源模組
48.1WH · 延長待機時間

核心處理器
高速運算
低功耗
內建時鐘

感測器
三軸加速規
±16g
13bit資料解析度

- 研發替代式水表，以廣泛觀測低流量低產值水井之使用量。
- 以震動感測器感測抽水馬達行為，以抽水時數計算抽水量。
- Size: 100 × 68 × 50 mm



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

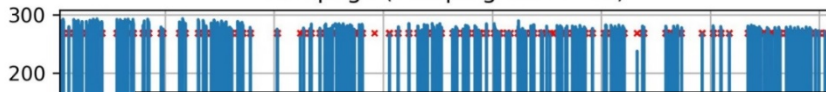
替代式水表研發

前端感知面

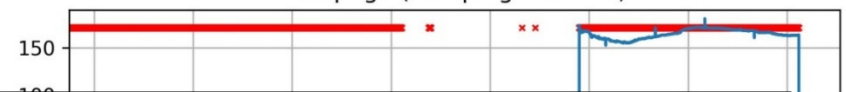


- 數值試驗驗證
 - 採50組水表資料進行驗證(觀測資料: 2017/8-2018/1)。
 - 將水表資料轉為0-1啟閉訊號，模擬硬體回傳資訊。
 - 從水表資料，隨機挑選四小時抽水量之平均值，視為現場率定資料。
 - 以上述公式，計算累積抽水量，並與水表資料比較，計算相對誤差。
 - 20口井(40%)，相對誤差 < 5%。
 - 惟部分因洗井，致使出水能力改變者，誤差較大。

Pumpage (Pumping well # 25)



Pumpage (Pumping well # 7)

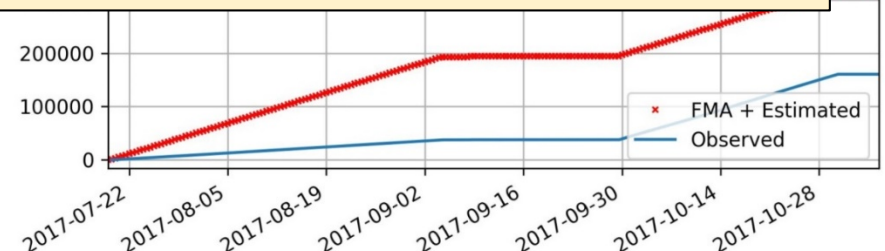
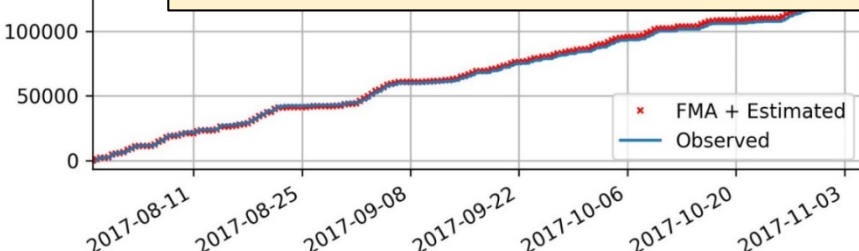


統計(累計至1/15)

50口抽水井累計抽水14,699,379噸(水表資料)

數值試驗合計誤差-2.55%。

如硬體能成功偵測馬達啟閉，可證實計算公式之推估成效。





地下水物聯網

抽水監控介面

Interface of Pumping Wells



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

抽水監控介面

智慧需求面



單日核發量 = 瞬時量 X 抽水時數

實際比例(%) = 實際量 / 核發量

顏色分級

顏色	綠色	黃色
抽水量/核發量 (每月)	0 - 80%	> 80%
定義	正常	警戒

抽水管理採燈號顏色區隔
綠色正常： < 80%
黃色警戒： > 80%

- 抽水監控介面：協助掌握抽水資訊與輔助管理。
- 如超額，系統主動以電子郵件提醒。

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

抽水監控介面

智慧需求面



水權核發量
(警戒線)

- 介面遠距抓取資料，並即時繪圖呈現。
- 政府管理者可在辦公室，遠端控管轄區超抽行為。



地下水物聯網

可用水量決定

Determine of Safe Yield



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

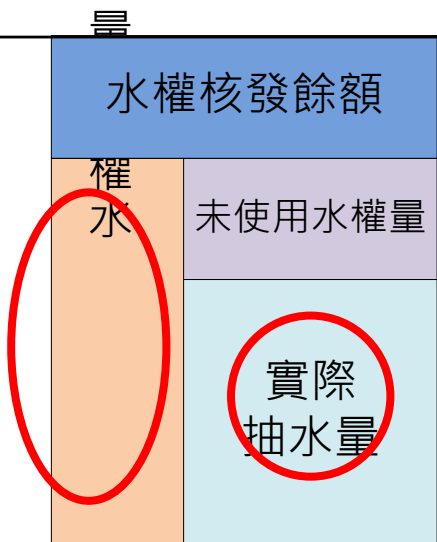
可用水量推估與水權管理

大數據分析

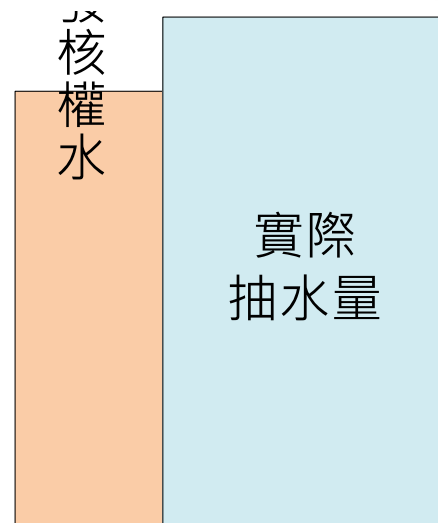


可用水量

狀況1
水權核發尚有餘裕

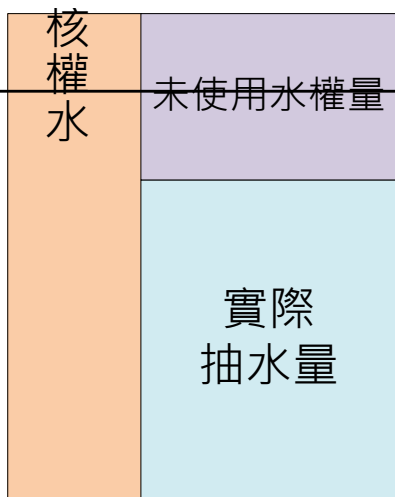


狀況2
用水超抽



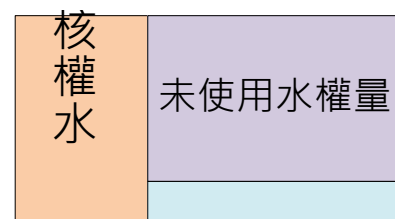
可用水量

狀況3
超量核發，實際抽水量仍小於可用水量



狀況4
超抽，需達量管制

可用水量



- 唯有以地下水物聯網建立精確水帳，方能對症下藥。
- Different sores must have different salves.

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

可用水量推估與水權管理

大數據分析



- 可用水量評估: 以50口抽樣樣本，推估全區抽水量。
 - 四大水權人佔全區核發量37.6%。實際抽水量為7.36萬CMD。
 - 以抽樣佔比，推估兩區實際抽水量，可能為19.6萬CMD。
- 採取滾動式管理，數年一期檢討。

	日核發量 ^a	水權井數	實際平均 抽用量 ^a
大樹大寮區核發總量	41.47		19.6
大樹區&大寮區			
水權人#1	5.33	12	0
水權人#2	3.66	11	0
水權人#3	3.00	19	2
水權人#4	3.38	8	4
小計	15.37	50	7.36

^a單位：萬CMD

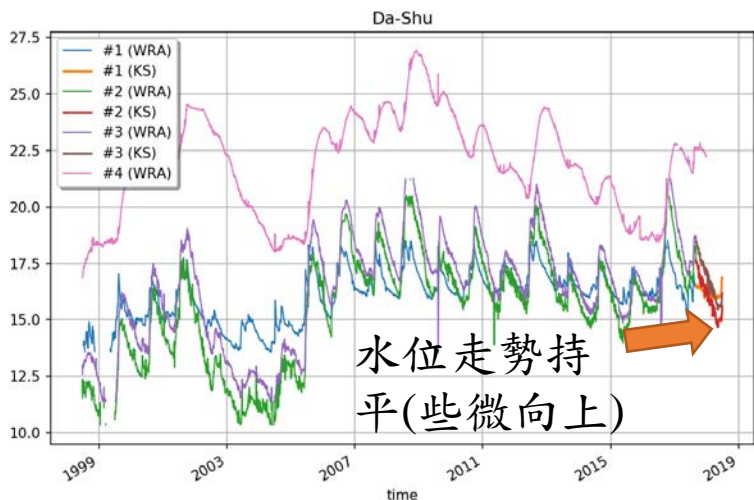
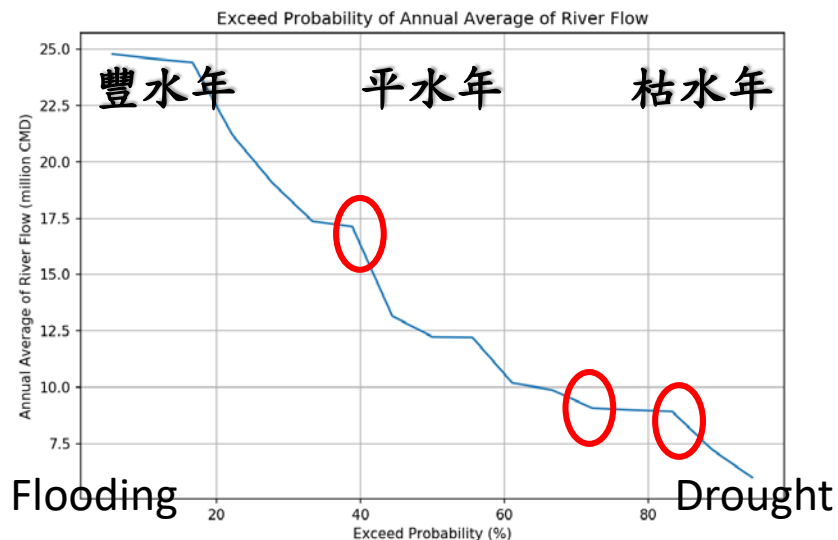
物聯網世代地下水管理的新思維與實作

可用水量推估與水權管理

大數據分析



- 以近期(2015-)水位走勢決定水權管理擴張/縮減
 - 近期水位微幅上揚
 - 近期水文條件偏枯旱。
 - 建議可擴張+10%地下水開發
- 採取滾動式管理，數年一期檢討。



大樹站地下水位走勢圖

高屏堰河川超越機率圖



高屏堰河川流量歷線圖

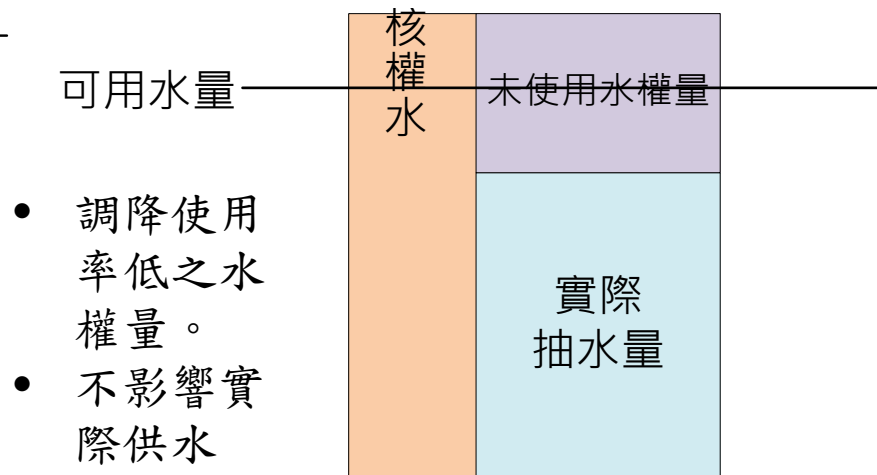
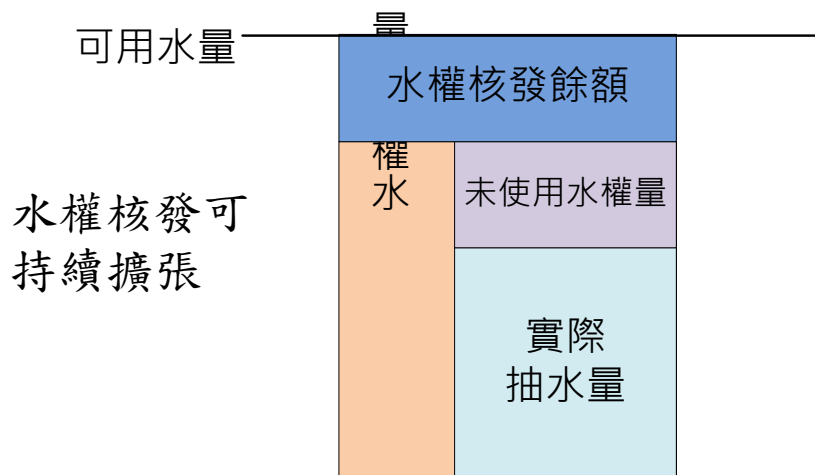
物聯網世代地下水管理的新思維與實作

可用水量推估與水權管理

大數據分析



- 可用水量推估：
 - 地下水物連網可精確掌握**區域地下水帳**。
 - 以近期水位走勢來看，地下水系統可承受現行抽水行為(可用水量 > 實際抽水量)。
 - 惟尚未得知是否高於水權核發總量。





地下水物聯網

抽水大數據分析

Big Data Analysis of Pumping



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

抽水資料大數據分析

智慧需求面

以抽水資料進行大數據分析，可偵測水井效能是否變化？實際需求與水權之關聯，水井是否存在剩餘產能，可提供管理決策之用。



抽水資料監控儀錶板

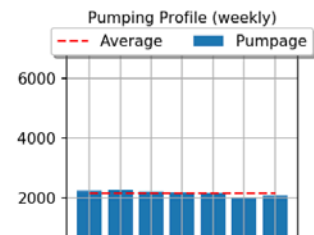
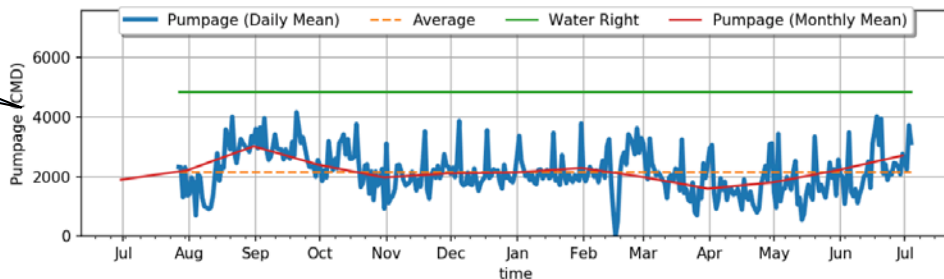
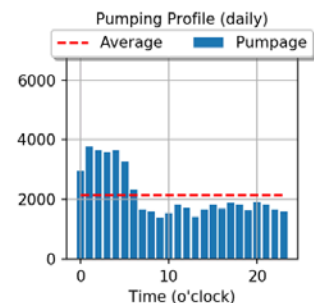
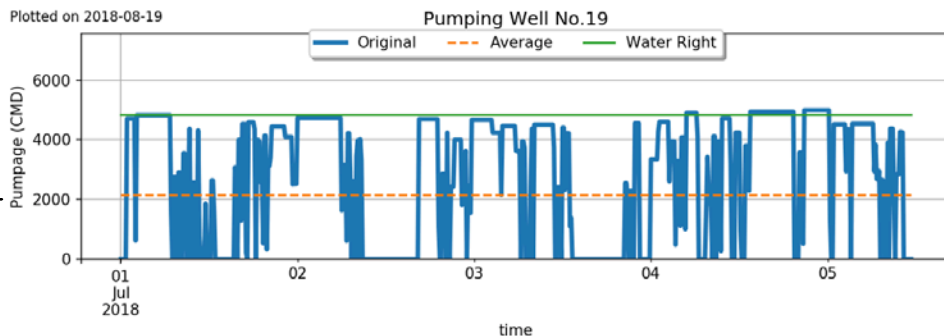
近期抽水資料展示

長期抽水資料展示

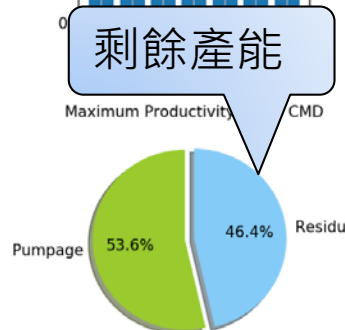
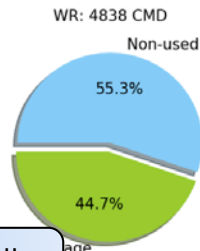
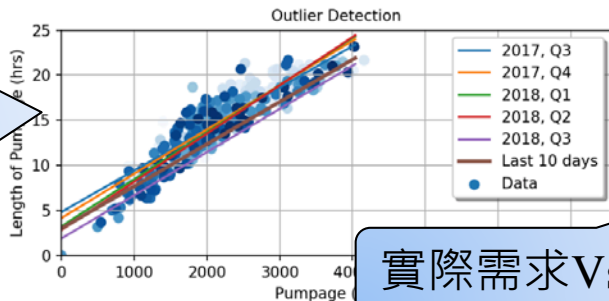
水位觀測井

介接資料

資料分析



抽水特徵異變偵測：
出水量隨抽水時數
線性增加



實際需求Vs.水權

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

抽水資料大數據分析

智慧需求面

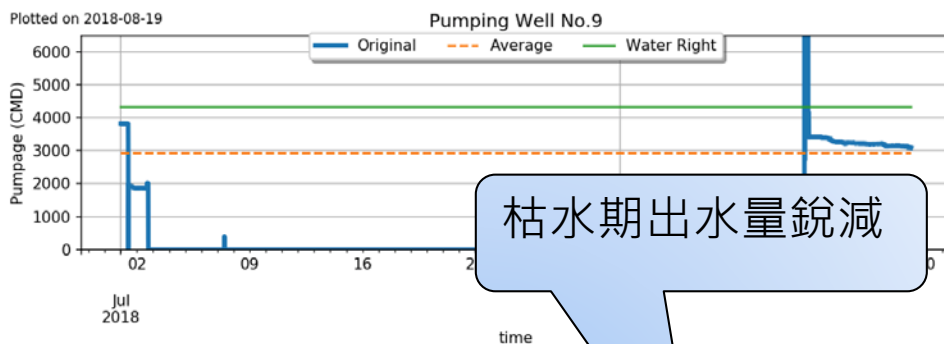


Navigation icons: back, forward, home, search, menu, refresh. URL: gwaterks.any91.com. User: Jacky

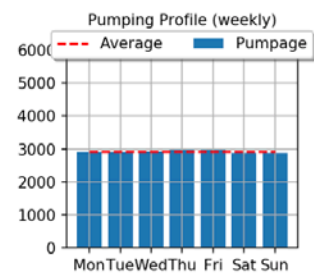
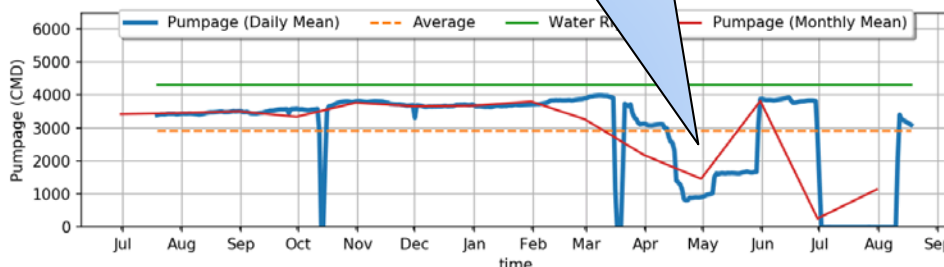
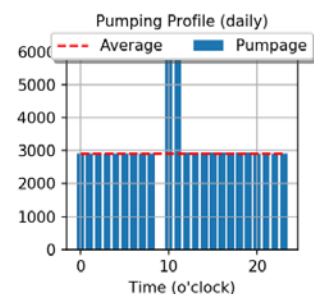
高雄市地下水管理智慧平台

抽水量監控儀錶板

離群值分析：可揭露水井異動過程。該區域可能為枯水期水位降低，產生鄰井效應。



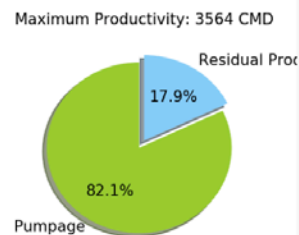
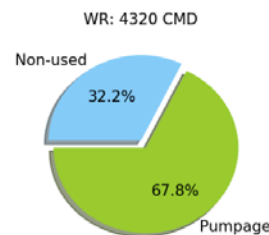
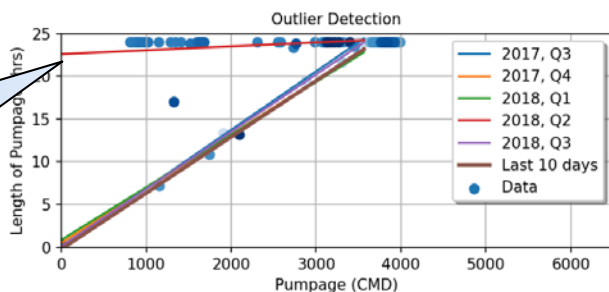
枯水期出水量銳減



介接資料

資料分析

2018, Q2水井特徵產生變化，水井出水能力降低。





地下水物聯網

地下水情預測

Prediction of Groundwater Variations



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

- 水桶模型：降雨逕流水文模型。

$$\frac{dH}{dt} = R(t) - kH$$

流出量為水桶狀態之線性倍數

Linear Signal Model 流量，檢定最佳參數 k 。

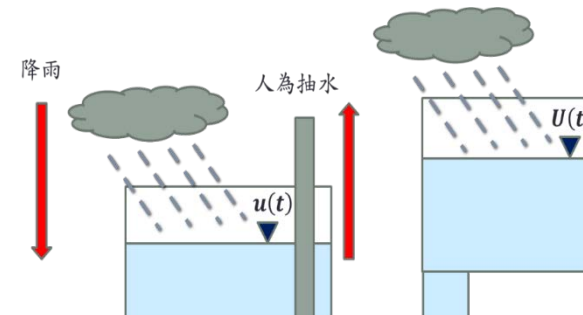
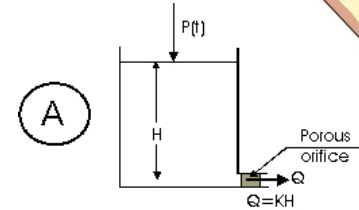
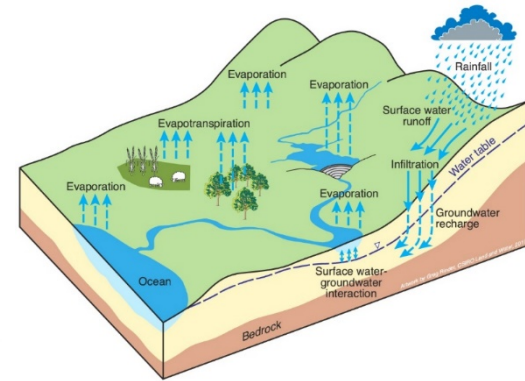
- LSM地下水文模型：概念近似水桶模型

$$\frac{dh}{dt} = -\lambda[h(t) - h_b] + \gamma R(t) - \sigma P(t)$$

- 單位水位改變量 = -淨流失 + 降雨補注 - 抽水量
- λ 為流失係數； h_b 為等效鄰近水位；
- γ 為降雨入滲係數； σ 抽水係數。

- 建模需地下水位、降雨量與抽水量
- 多數研究區域並無抽水觀測。

Assumption: 受人類日出而作的特性，水位一天一次頻率之時變震幅 = 抽水量

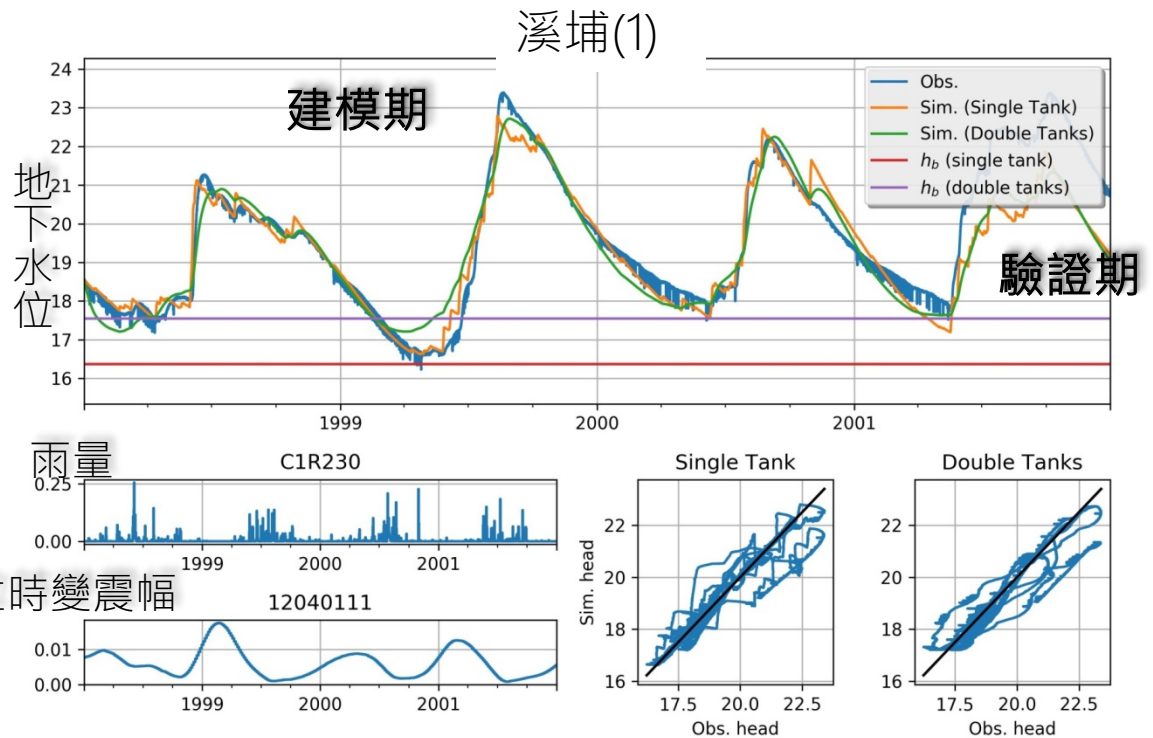
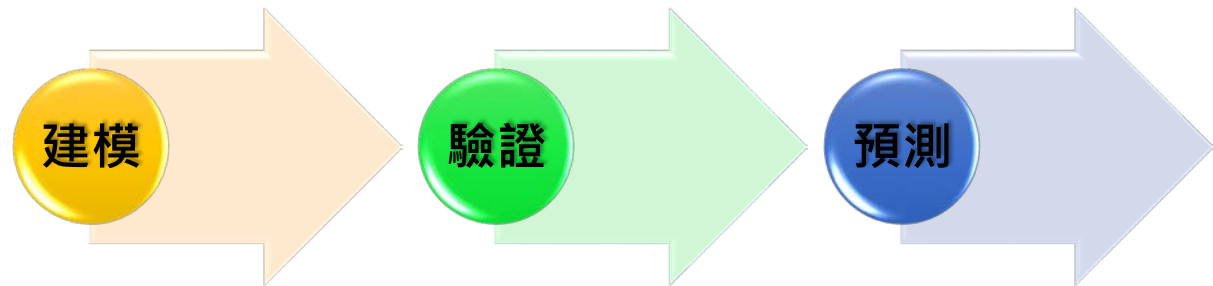


物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- LSM地下水文模型：
可作為**區域型長時間**
之模擬。

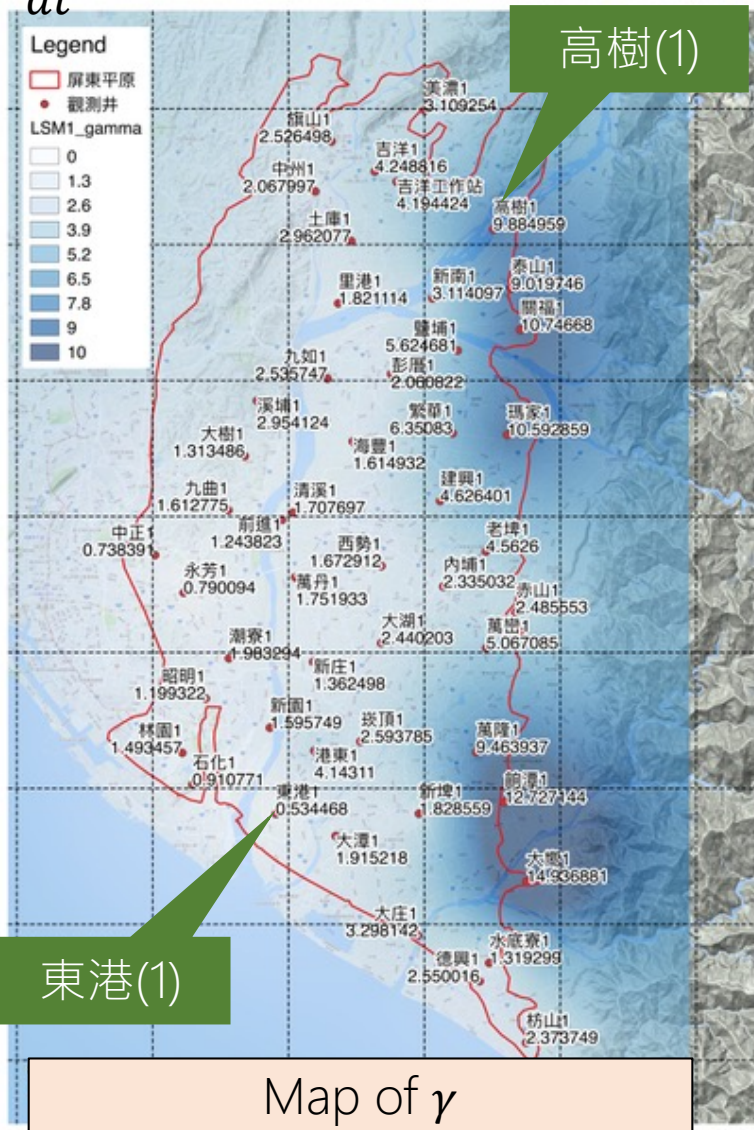
- 以溪埔(1)為例
- 3年資料建模(小時資料)。
- 1年資料驗證
- 水位擬合成效佳。
- 屬於集塊式模型(lumped)，計算速度快。



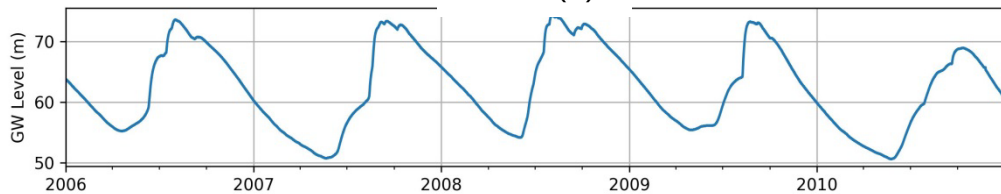
物聯網世代地下水管理的新思維與實作



$$\frac{dh}{dt} = -\lambda[h(t) - h_b] + \gamma R(t) - \sigma P(t)$$

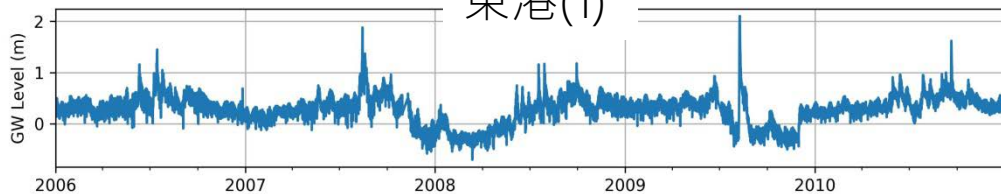


高樹(1)



- LSM水文模型結合觀測水文學量，已應用在屏東平原、濁水溪沖積扇與台中盆地等區域型系統之水文地質特性辨識
 - 可從觀測水文學量，掌握水文地質特徵
 - 不同LSM參數，可展現不同地質特徵。

東港(1)



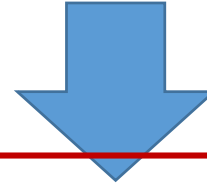
物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 對於不同尺度問題

- 場址性問題，非區域性問題。
- 多口抽水井
- 鄰近河畔

$$\frac{dh}{dt} = -\lambda[h(t) - h_b] + \gamma R(t) - \sigma P(t)$$



$$\frac{dh}{dt} = -\lambda[h(t) - h_b] - \lambda_{riv}[h(t) - H_{riv}] + \gamma R(t) - \sum \sigma_i P_i$$

- 以原LSM地下水文模型為基礎，改寫為修正型LSM模型。
 - 將抽水項擴增為多組
 - 額外增加河川水位與地下水位交換項（河川交換量）
- 實作求解
 - 以Python 3.開發，以scipy.curve_fit檢定最佳參數
 - 如N口抽水井，待定係數量為N+4。
 - 為使最佳化問題可解，檢定資料量需超過N+4筆資料

物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 給水工場
 - 鄰近高屏溪畔
 - 場內存在19口抽水井
 - 2口廢棄生產井，作為觀測井。
 - 地下水流場：北高南低。
- 建立乾旱時期抽水vs.洩降模式。
- 建模
 - 待定變數：19+4=23。
 - 時間長度：一個月。144x30 = 4320 >> 23



高屏溪

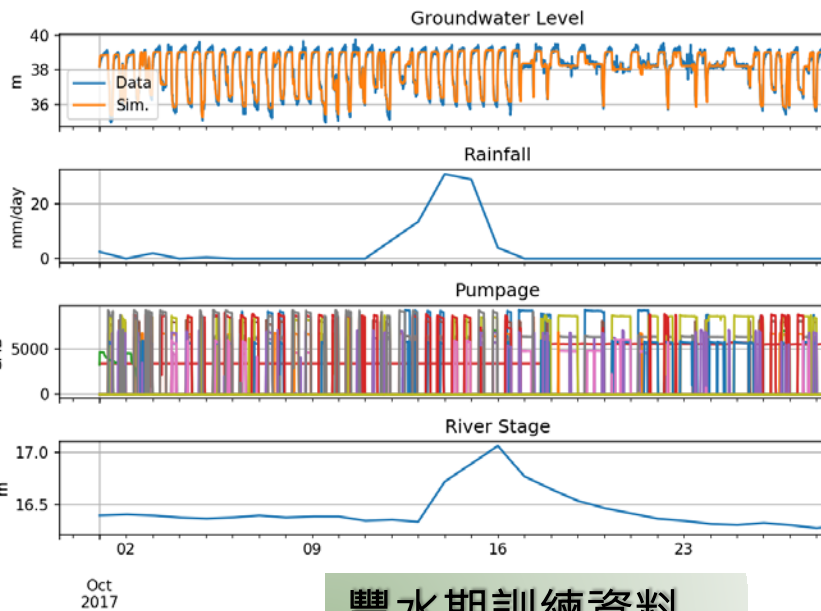
給水工場

$$\frac{dh}{dt} = -\lambda[h(t) - h_b] - \lambda_{riv}[h(t) - H_{riv}] + \gamma R(t) - \sum \sigma_i P_i$$

物聯網世代地下水管理的新思維與實作

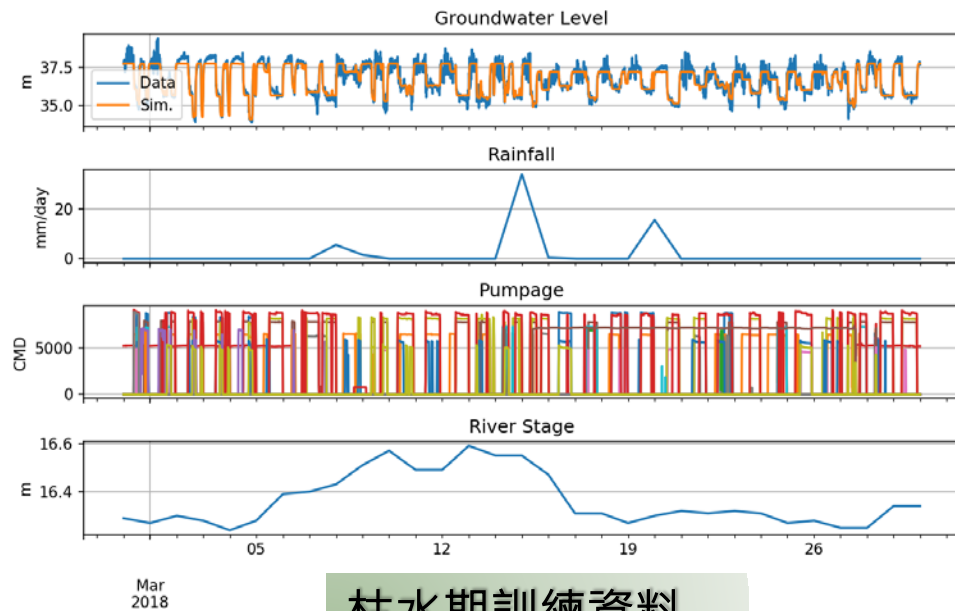


- 以豐水期或枯水期資料建模，擬合成效良好。
 - 惟如以豐水期參數，應用於枯水期，其水位模擬偏高。
 - 豐水期水位：36-40m
 - 枯水期水位：35-37.5m
- 因水資源管理以枯水期為管理重點，故採枯水期資料進行訓練、驗證與預測。



豐水期訓練資料

水位
雨量
抽水
河水高

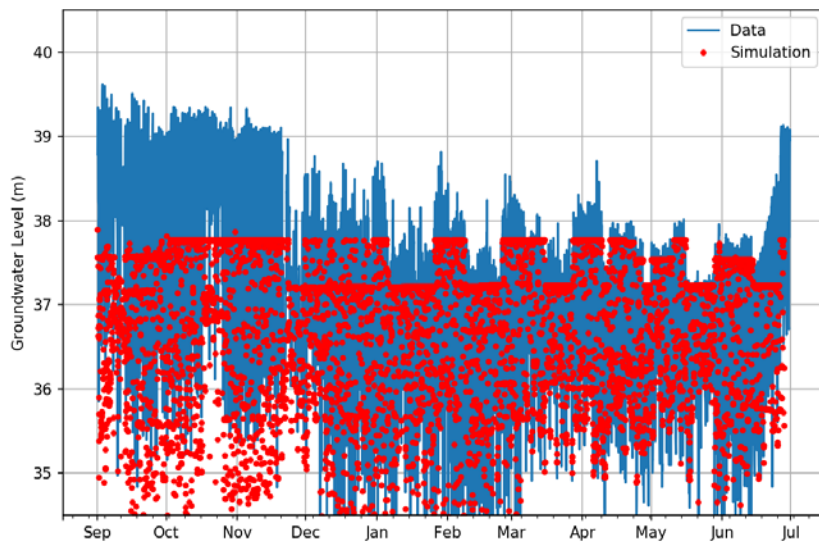


枯水期訓練資料

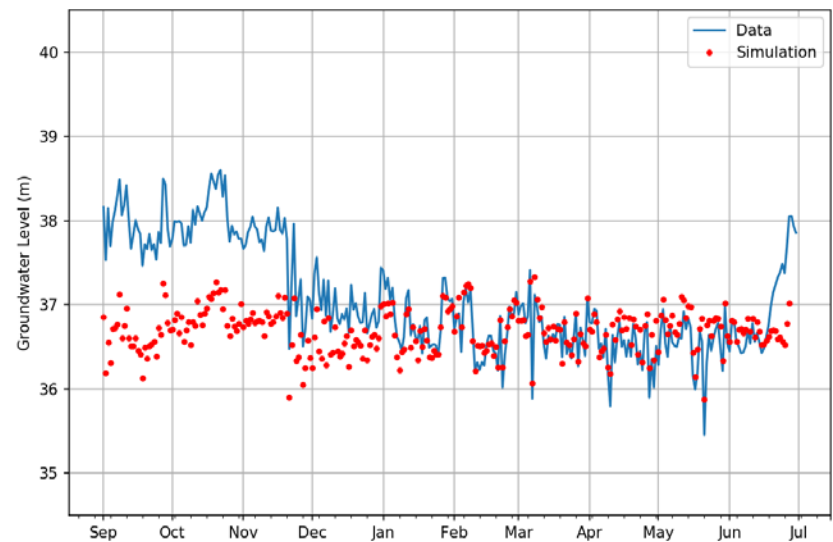
物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 驗證階段
 - 以**枯水期資料**建立模型，以其進行驗證。
 - 提供**初始地下水位**，以及**抽水、降雨與河川水位**等**時序水文資料**。
 - 因抽水井與觀測井距離近，產生4-5公尺洩降，因鄰近高屏溪補注源，停抽水位立即回復。
 - 日平均水位去除洩降產生之雜訊，**驗證成果良好**。



驗證階段之觀測與模擬圖(10mins)



驗證階段之觀測與模擬圖(日平均)

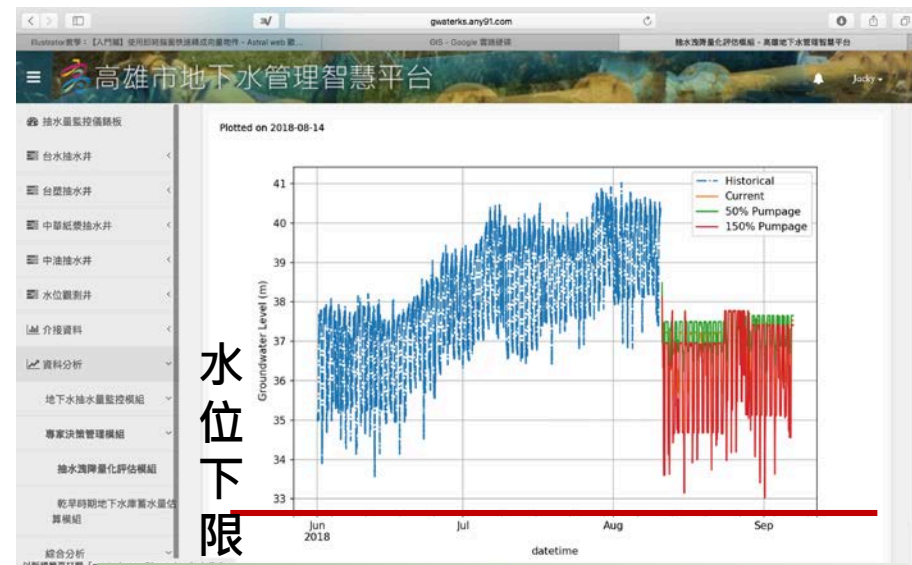
物聯網世代地下水管理的新思維與實作



- 地下水情預測：以MLSM模型，搭配未來降雨推估與抽水量
 - 未來降雨：氣象局月長期天氣展望（自動更新開放資料）
 - 未來抽水量：以最近四週抽水，作為未來四週抽水。並可檢驗增減50%或其他比例。
- 於乾旱時期，本模型可評估井群增抽降低缺水或減抽避免環境衝擊，屬於專家決策支援模組。



氣象局月長期天氣展望



地下水情預測(四週)



結論



物聯網世代地下水管理的新思維與實作

結論



- 本研究以地下水物聯網為核心構想，建立大樹大寮區抽水與水位觀測系統，掌握地下水資源之使用與反應，並作為地下水管理之決策支援。
- 在物聯網世代，新思維可突破原地下水管理的困境(水文地質參數不足)。
 - 抽水管控介面：可輔助管理者遠距管理轄區大量水井。
 - 以水表進行抽水量抽樣調查，可建立精確水帳，搭配水位走勢與滾動式管理，可逐步找出系統之可用水量。
 - 物聯網觀測資料，結合線性訊號模型(Data Mining)，可建立未來地下水情預測，作為乾旱時期地下水管理決策之量化依據，使管理決策客觀化與精確化。
 - 大數據分析結合各井抽水資料，可揭露水井之異變與各種特徵，可作為後續管理之依據。

The End



The End

Thank you for your attention!