

農業區水圳微水力發電整合小型農業氣象站之應用

農試所農工組 曾祥恩 蘇文瑞

一、前言

隨著全球對綠色能源需求日益增加，許多國家、城市與企業紛紛承諾於2050年前實現碳中和，顯示人類對氣候變遷議題的重視與行動力持續升溫。水力發電作為一種潔淨、成本低廉且對環境衝擊相對較小的能源形式，具備相當發展潛力。然而，目前全球仍有大量水力資源尚未被有效利用，主要原因在於傳統大型水壩與發電設施在建置初期所需的鉅額投資成本，且可能對生態環境帶來潛在破壞 (Date & Akbarzadeh, 2009)。

水力發電已有超過百年的應用歷史，並被視為再生能源之一，但大型水壩工程往往會淹沒肥沃土地、改變自然河川流域，進而破壞當地生態系統，使其永續性備受質疑 (Burke et al., 2009)。此外，傳統水力發電的效益常受到地形條件、水流功率密度及輸電距離等因素的限制，在滿足分散地區的發電需求上存在一定困難 (Güney & Kaygusuz, 2010)。儘管高水頭水力電站具備較高的發電效率，卻多建於人口稀少、電力需求低的地區，需透過長距離輸電，反而降低了其經濟效益 (Okot, 2013)。相較之下，微型與低水頭水力發電技術具有靠近用電區、可減少輸電損耗等優勢，因而逐漸被視為農業區或偏遠地區具可行性之替代能源方案。

研究指出，低水頭水力技術 (落差約2~30m) 已被廣泛應用於農業灌溉、都市排水系統以及丘陵地區，並在開發中國家的農業區電氣化中展現出高度的成本效益 (Loots et al., 2015)。近年來，隨著超低水頭 (ultra-low head, ULH) 渦輪機技術的突破，過去被認為不具開發潛力的淺河道、人工運河與污水處理場等地，也開始具備進行小型發電的可行性。在超低水頭條件下(0~2m)，為降低設備成本並提升運轉效能，水輪機設計需趨於簡化。此外，微水力系統對環境的影響極小，主因是其採用較寬的葉片通道與低轉速運轉，能有效減少對魚蝦等水生生物的傷害；且多數系統無須興建水壩，或僅需設置極低高度的堤壩，有助

作　　者：曾祥恩助理研究員
連絡電話：04-23317705

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0005

於維持魚類洄游通道及水生生態系的完整性。本文以臺灣農業區的灌溉水圳為試驗場域，探討如何在超低水頭(0.54 m)條件下，整合微水力發電系統與小型農業氣象站，實現分散式綠能發電與智慧農業數據監測之雙重目標。

二、試驗場域選擇與量測

選定農業部農業試驗所後方第77號與第79號水稻試驗田旁的阿罩霧水圳作為試驗場域(座標：24°01'48.2"N, 120°41'12.7"E)。該水圳的規模與臺灣西部平原地區多數農業區水圳相近，主要用於灌溉兩側的水稻田或其他農作物。試驗區段水圳高度為720mm，上口寬度為2,180 mm，底寬為800mm。研究中使用HEDU-22型旋轉雷射儀，量測水圳上游至發電端之間的實際水頭落差。測得結果顯示水頭落差為0.54m，平均坡度約為0.76%，屬於可應用於超低水頭徑流式水輪機發電的條件。

三、微水力發電系統與小型農業氣象站建置

於試驗場域建置阿基米德式微水力發電系統(圖一)與小型農業氣象站(圖二)。系統依結構簡化及高適應性原則設計，目標為建立可長期穩定運作之分散式綠能系統。其系統整體架構涵蓋八大部分：主支架結構、微水力發電設備、自動升降設備、控制設備、儲能設備、感測設備、以及手持行動裝置與研究辦公室遠端監控平台。小型農業氣象站則配置風向、風速、溫度、濕度與光合有效輻射感測器。系統零組件與架構如圖三所示。

微水力發電設備包含3螺旋(直徑270mm、長度1,000mm)阿基米德式螺旋葉片，搭配齒輪比1:2之增速齒輪機構、400W三相交流永磁發電機與12V~80V整流器。自動升降設備由GDM-09SC 200W直流馬達、5GN-100K減速機、SWL1T螺杆直徑23mm升降機構、DC24V 4A正反轉控制模組及WLNJ-Q極限開關組



圖一、阿基米德式微水力發電系統。



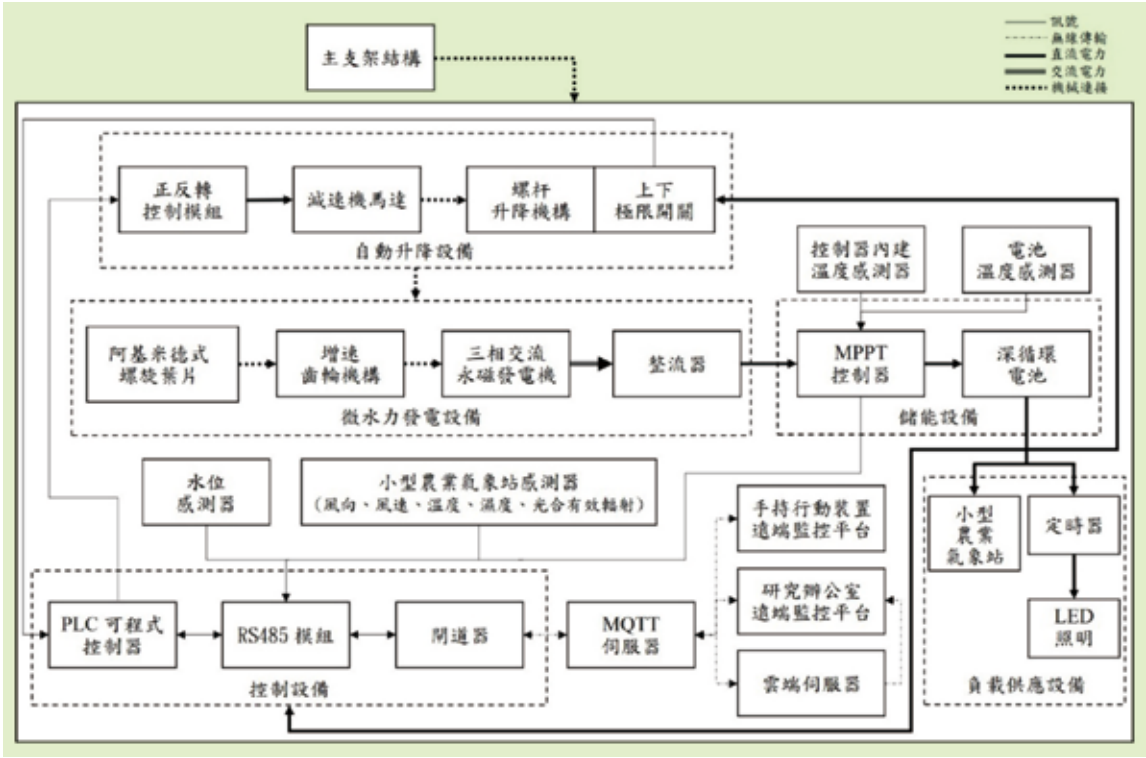
圖二、小型農業氣象站兼具田間監視功能。

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0005

成。控制設備包括FBS-20MCT2 PLC可程式邏輯控制器、FBS-CB55通訊RS485模組與SE5901B-IO-4G閘道器。儲能設備則為DC24V/2,400W MPPT控制器與DC12V/1,000Ah深循環電池。感測設備包含0.3~6m水位感測器、-35~+65℃電池溫度感測器、-35~+65℃控制器內建溫度感測器；小型農業氣象站則配置有16方位(0~360°)風向感測器、0~60m/s風速感測器、-40~+120℃溫度感測器、0~100%RH濕度感測器、SQ-215光合有效輻射感測器。

阿基米德式微水力發電系統利用灌溉水圳的水流推動阿基米德式螺旋葉片旋轉帶動增速齒輪機構，增速齒輪機構推動三相交流永磁發電機，產生三相交流電力，經過整流器轉換為直流電力，再透過MPPT控制器充入深循環電池中，利用深循環電池將電能儲存，再供應給自動升降設備、控制設備、感測設備與小型農業氣象站設備使用。

系統中控制器內建溫度感測器，用於監測MPPT控制器溫度和電池溫度感測器則用於監測蓄電池溫度，兩者均透過MPPT控制器內建之RS485通訊介面連接至RS485模組第一通訊埠。水位感測器用以監測水圳水位變化，並同樣經由其內建RS485通訊介面連接至RS485模組第一通訊埠。小型農業氣象站主要用於在農業環境中監測氣象數據，其中配置的風向感測器量測風的來向，風速感測器量測單位時間內之風速，溫度感測



圖三、微水力發電整合小型農業氣象站系統架構圖。

－農業試驗所技術服務季刊・2026年6月・146期－
DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0005

器量測空氣溫度，濕度感測器量測空氣相對濕度與光合有效輻射感測器量測植物光合作用所需可見光範圍之輻射量。風向、風速、溫度、濕度與光合有效輻射感測器均具內建RS485通訊介面連接至RS485模組的第一通訊埠。RS485模組的第一通訊埠，再連接至PLC可程式邏輯控制器。控制器內建溫度感測器、電池溫度感測器、MPPT控制器、水位感測器及小型農業氣象站感測器所採集之數據，經由PLC可程式邏輯控制器進行運算轉換，將運算轉換的數據透過PLC可程式邏輯控制器連接至RS485模組，由RS485模組的第二通訊埠連接至閘道器。

閘道器做為數據轉換器，將PLC的Modbus工業協議數據轉換為MQTT協議格式，再透過4G行動網路，將數據傳送至MQTT伺服器，MQTT伺服器將接收到來自閘道器的即時數據統一管理，供手持行動裝置與研究辦公室遠端監控端平台進行讀取、呈現與視覺化顯示。遠端監控平台所能顯示與儲存之關鍵參數包括：蓄電池容量(%)、蓄電池電壓(V)、控制器溫度(℃)、蓄電池溫度(℃)、微水力發電電壓與電流(V, A)、當日發電量(kWh)、累積發電量(kWh)、當日充電最大功率(W) 、水位高度(mm)、室外溫度(℃)、室外濕度(%RH)、室外風速(m/s)、室外風向(°)與光合有效輻射感測器(umol/m2/s)等。同時，系統可建立歷史資料庫，以支援後續之數據分析與系統優化(圖四及圖五)。

四、結論與未來展望

本研究於臺灣西部農業區水圳場域建置阿基米德式微水力發電系統，並整合小型農業氣象站，證明超低水頭(0.54 m)與超低斜率(7.4/1,000)的在槽式灌溉水圳具備發電能力，惟目前架設阿基米德式水輪葉片僅能使用1/3水圳流量，無法



圖四、透過手持行動裝置與研究辦公室遠端監控端平台可遠端監控微水力發電和小型農業氣象站狀態。



圖五、即時提供農地狀態氣象及遠端監控機組運轉資訊。

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0005

完整有效利用水圳水流進行發電，試驗結果顯示發電量約1度電/日。針對此一情況，本所目前已著手研究開發可搭配我國農業水圳環境之水輪葉片、增速齒輪及永磁發電機，可有效將水力轉換為電力，並利用MPPT控制器與深循環電池完成儲能與供應。此外，並研究整合多項感測器後，系統可即時監控水文及氣象參數，並透過4G網路與MQTT通訊協議，實現遠端監控與數據視覺化，提升系統運維效率。整體架構具高度適應性與擴展性，對於農業區分散式綠能發電及智慧農業監測具有示範效益，未來展望如下：

(一) **系統效能優化：**另行重新設計符合我國水圳需求之改良型水輪葉片，提升發電效率與耐用性，依水流變化動態調整控制策略。

(二) **擴大應用範圍：**應用至其它農業區水圳，建構分散式微水力發電網絡，並整合更多農業感測器，發展智慧農業生態系。

(三) **智能化系統：**結合物聯網與人工智慧技術，進行數據學習與預測，優化蓄電池管理、水力調節及農業灌溉決策，提升能源自給利用率及農作物生產效率。

(四) **生態與社會影響評估：**持續監測微水力系統對水生生物及生態環境的影響，並推動社區參與綠能教育，提升居民認同與支持。

(五) **高效水輪葉片開發與成本降低：**隨技術進步與規模經濟發展，開發高效能水輪葉片以降低系統建置與維護成本，可於農業區推動微水力發電機組之廣泛應用。

五、參考文獻

Burke, M., Jorde, K., & Buffington, J. M. (2009). Application of a hierarchical framework for assessing environmental impacts of dam operation: Changes in streamflow, bed mobility and recruitment of riparian trees in a western North American river. Journal of Environmental Management, 90, S224-S236.

Date, A., & Akbarzadeh, A. (2009). Design and cost analysis of low head simple reaction hydro turbine for remote area power supply. Renewable Energy, 34(2), 409-415.

Güney, M. S., & Kaygusuz, K. (2010). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(9), 2996-3004.

Loots, I., Van Dijk, M., Barta, B., Van Vuuren, S., & Bhagwan, J. (2015). A review of low head hydropower technologies and applications in a South African context. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 50, 1254-1268.

Okot, D. K. (2013). Review of small hydropower technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 26, 515-520.

DOI：10.30248/TSQBTARI.202606_(146).0005