

農田水利設施小水力發電潛力評估分析－以雲 林鹿場課圳為例

Analysis of Small Hydropower Potential Assessment for Agricultural Water Conservancy Facilities - A Case Study of Luchangke Canal in Yunlin County

志盛資訊有限公司	農業部農田水利署
負責人	簡任正工程司
黃志偉	組長
Chih-Wei Huang	朱孝恩
Meng-Siang Yang	Chiu-Ping Liang
	Hsiao-En Chu

摘要

配合經濟部推動再生能源政策，農業部農田水利署整體規劃運用具豐沛水力條件之農田水利設施設置小水力發電設備，進行場域盤點及可行性評估，並研商推動方向，以共同合作推動能源轉型及 2050 年淨零排放政策。爰此，農業部農田水利署委託志盛資訊有限公司辦理「全臺農田水利設施小水力發電潛力評估計畫」(111~112 年)，進行小水力發電潛力評估分析研究。

本研究 111 年度針對全臺農田水利設施小水力發電潛力場址進行評估，由於評估場址較多，故本研究以目前農田水利署雲林管理處推動中之雲林鹿場課圳為例，針對鹿場課圳之其他場址進行分析。首先，蒐集圳路相關資料，包含斷面資料與近 5 年流量資料；以及蒐集小水力發電設施，包含機組型式、裝置容量、適用水文條件。其次，評估小水力發電潛力場址之可行性，包含計算場址之小水力發電理論潛能，並藉由蒐集之小水力發電設施資料，選配可能適合之機組並計算搭配該機組之發電潛能。由於不同機組之適用水文條件均不同，故須計算不同適用機組之平均可用於發電之放流天數，並擇其中最佳方案分析場址之可設置型式。接著，為評估小水力發電機組對渠道通水之影響(如設置在槽式)，需進行現地水文量測，作為水理分析模式驗證使用。本研究水理分析採用 HEC-RAS 模式，分析圳路於通水斷面減少情況下之情形下，對渠道通水能力之影響。最後，初步規劃場址之發電設備配置方案。綜合以上分析評估結果，可作為未來推動公開招商之參考。

關鍵詞：小水力發電，淨零排放政策，水理分析，灌溉渠道

Abstract

Cooperate with the Ministry of Economic Affairs to promote renewable energy policies,

make overall plans to use irrigation and water conservancies with abundant hydraulic conditions, install small hydropower equipment, conduct site inventory and feasibility assessment, and discuss the direction of promotion, in order to jointly promote energy transformation and 2050 Net zero emissions policy. Therefore, the Irrigation Agency of Ministry of Agriculture entrusted Chih-Sheng Information Co., Ltd. to perform the small hydropower potential assessment plan for agricultural water conservancy facilities in Taiwan (during 2022-2023), and to conduct small hydropower potential assessment analysis research.

This study evaluated the small hydropower potential sites of irrigation and water conservancies in Taiwan in 2022. Due to the large number of assessment sites, this study takes Luchangke Canal in Yunlin County as an example, which is promoting currently, and analyzes other sites in the Canal. First, this study collected relevant data of irrigation canals, including section data and flow data of the past five years, in addition to collect small hydropower facilities, including unit type, device capacity, and applicable hydrological conditions. Secondly, assessing the feasibility of potential sites for small hydropower generation includes calculating the theoretical potential at the site, and using the collected data to select a possibly suitable unit and calculate the power generation potential of the unit. Since the applicable hydrological conditions of different units are different, it is necessary to calculate the average number of discharge days that be used for power generation for different applicable units, and choose the best plan to analyze the available installation types of the site. Next, in order to evaluate the impact of the small hydropower unit on the water flow of irrigation canal (if it is installed in the canal), it is necessary to conduct hydrological measurements on the spot and use it as a verification of the hydraulic analysis model. This study used the HEC-RAS model for the hydraulic analysis to analyze the impact on the water flow capacity of the irrigation canal under the condition that the reduced water section of the irrigation canal. Finally, the configuration scheme of power generation equipment on the site was be planned preliminarily. Based on the comprehensive analysis and assessment results mentioned above, these could serve as references for future investment and promotion by the management office.

Keywords: Small Hydropower , Net Zero Emissions Policy , Hydraulic Analysis , Irrigation Canal

一、前言

有鑑於氣候變遷帶來之影響愈來愈大，世界多國已響應「2050 淨零排放」行動，臺灣亦為其中之一。因應「淨零排放」目標，國內各部分各司其職，其中，農業部規劃於「減量」、「增匯」、「循環」及「綠趨勢」等四大主軸下具體提出 19 項策略與對應的 59 項措施，農田水利署主責推動「綠趨勢」項目之「推動農田水利裝設小水力發電，以善用水力資源發展多元綠電」，並配合經濟部推動再生能源政策，整體規劃運用具豐沛水力條件之農田水利設施設置小水力發電，持續進行案場建置、發電潛力場域盤點及可行

性評估等相關工作，以共同合作推動能源轉型並達成淨零排放目標。

爰此，農業部農田水利署委託志盛資訊有限公司辦理全臺農田水利設施小水力發電潛力評估計畫(111~112 年) [1]，進行小水力發電潛力評估分析研究。本研究係針對該計畫 111 年度評估之小水力發電潛力場址進行分析，由於年度評估場址較多，故本研究以雲林鹿場課圳為例。評估項目包含圳路相關資料蒐集、小水力發電設施資料蒐集、小水力發電潛力場址之可行性、水理分析，以及規劃發電設備配置方案。

二、基本資料蒐集

本研究以目前農田水利署雲林管理處推動中之雲林鹿場課圳為例，由於鹿場課圳1、2、3、7號跌水工之小水力發電建置案已完成招商，故本研究探討未來4、5、6號跌水工(如圖1所示)設置小水力發電設施之可行性。於評估前，需先蒐集圳路相關基本資料，包含斷面資料(以4號跌水工為例，如圖2所示)與近5年流量資料(以109年與110年為例，如圖3所示)；以及相關小水力發電設施(如表1所示)，包含機組型式、裝置容量、適用水文條件，作為後續場址篩選機組之用。



雲林鹿場課圳 4 號跌水工

雲林鹿場課圳 5 號跌水工

雲林鹿場課圳 6 號跌水工

(拍攝日期：111 年 6 月 30 日)

圖 1 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工現場照片

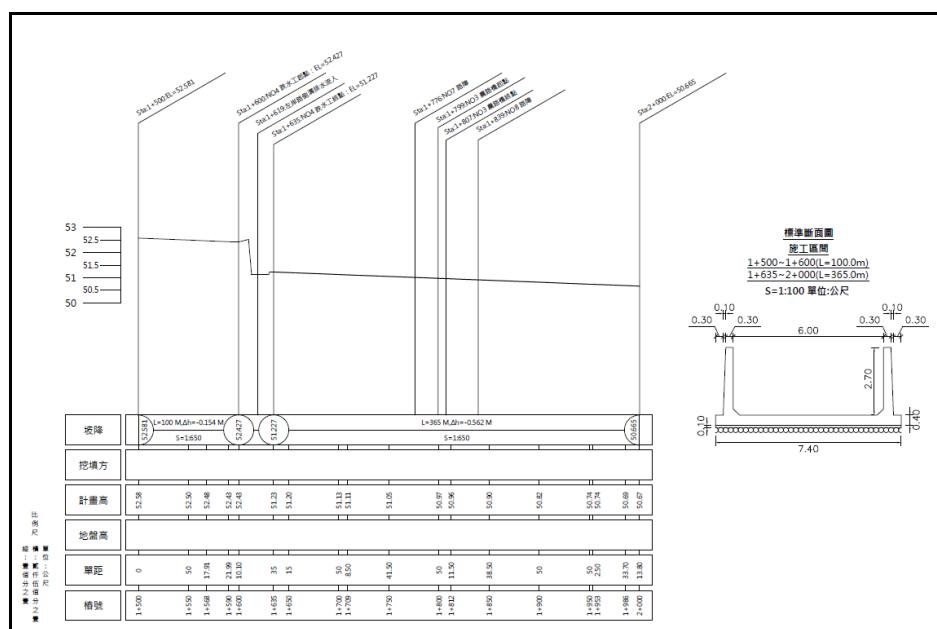


圖 2 雲林鹿場課圳 4 號跌水工橫縱斷面圖

(資料來源：農業部農田水利署雲林管理處)

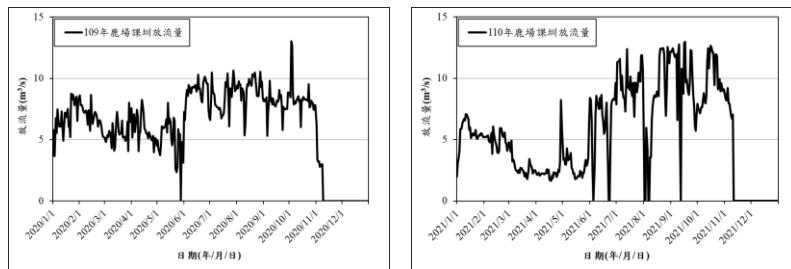


圖 3 雲林鹿場課圳 109 年與 110 年流量歷時圖

(資料來源：農業部農田水利署雲林管理處)

表 1 國內外市售小水力發電機組規格

公司	種類	水頭(m)	流量(m^3/s)	裝置容量(kW)	
A 公司	衝擊式	1.5~4.5	1~9	15~200	
B 公司		6~12	0.006	0.3	
		6~15	0.007	0.5	
		8~20	0.008	0.6	
		10~20	0.012	1	
		15~20	0.015	1.5	
C 公司		15~25	0.020	2	
橫流式	1~3	0.1~2	0.4~16		
	2~5	1~10	10~80		
	2~8	1~15	20~160		
D 公司	法蘭西式	15~20	0.004~0.012	0~30	
E 公司	漂浮式	—	—	2~100	
F 公司	螺旋式	1~10	0.3~10	3~500	
	衝擊式	50~1,000	1~10	50~30,000	
	橫流式	30~200	0.16~16	50~4,500	
	混流式	15~300	0.5~35	50~20,000	
	虹吸式	1.5~6	0.15~5	5~160	
	軸流轉槳式	1.5~35	1.2~200	20,000	
G 公司	混流式	10~430	0.06~20	20~25,000	
	軸流式	1.5~35	1.2~200	20~20,000	
	衝擊式	50~1,000	0.1~6	30,000	
	橫流式	3~200	0.03~16	10~7,000	
	螺旋式	1~3	0.3~20	5~800	
H 公司	水斗式	3~130	0.1~10	1.2	
	斜擊式	2~30	8~16	1.2	
	軸流式	1~5	25~56	1.6	
		1~5	25~56	1.6	
I 公司	貫流式	4 ~ 20	0.029 ~ 0.15	2 ~ 20	
		2 ~ 15	0.029 ~ 0.15	1 ~ 10	
		2 ~ 15	0.065 ~ 0.38	2 ~ 25	
		2 ~ 15	0.3 ~ 1.4	5 ~ 100	
		2 ~ 15	0.5 ~ 3.5	10 ~ 200	
J 公司	橫流式	0.85~ 2.3	0.070 ~ 0.345	0.2 ~ 2.0	
		0.9 ~ 2.9	0.4 ~ 4.6	1.5 ~ 45.0	
K 公司	豎軸式	1~5	0.2~3	1~10	

註：資料眾多，僅節錄部分資訊。資料來源：「小水力發電之潛能調查及評估計畫」，經濟部水利署，2019 年[2]，本研究補充。

三、小水力發電潛力場址可行性評估

1、理論發電潛能

因各評估地點之水文與環境條件均不同，適合設置之小水力發電機組型式亦有所差異，故先需取得相關資料再配合現勘結果進行確認，並估算理論發電潛能，如式(1)所示。

$$P(\text{kW}) = g \times Q \times H \times e \quad (1)$$

式中， P 為發電出力， g 為重力加速度(9.8 m/s^2)， Q 為流量(m^3/s)， H 為水頭(m)， e 為綜合效率(無因次，採保守值 0.4~0.6 計)。

水頭部分，可利用設計圖說計算，計算方式如圖 4 所示。如於渠道中有 3 處位置為小水力發電設施評估位置，則此 3 處之水頭分別為 h_1 、 h_2 以及 h_3 ；如欲僅評估 1 處(如評估位置 3)，則水頭為 $h_1+h_2+h_3$ 。如無設計圖說時，可利用水準儀、人工簡易量測方式或 GPS 定位儀等進行計算。

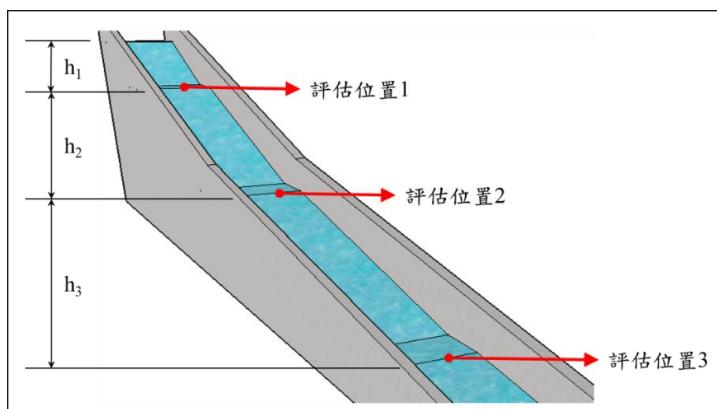


圖 4 水頭計算示意圖

流量部分，最佳方式為取得渠道歷年流量資料，如無測站流量時則以現地量測值為主。另外，因部分評估場址距離測站位置甚遠，此段距離中常有水門控制分流(灌溉需求)，故需配合現地流量量測瞭解差異性，並計算流量比(以利未來量測作業)，量測結果亦作為後續水理分析驗證之用。

2、現勘作業

現勘作業主要為確認場址斷面尺寸與設計圖說是否符合，因評估場址地點不一定有設計圖說資料可查詢(如年代久遠資料遺失，或經改建等)，故需輔以現地量測進行確認。除此之外，並確認周圍環境實際利用情形，有無道路通行(涉及未來施工便利性)、有無電網(如無電網未來須付費設置)，以及有無公共設施(如有公共設施，可評估直接供公共設施使用，剩餘電量再併網售電或儲電)等。

3、現地水文量測

水文量測方法與相關儀器眾多，可參考經濟部水利署「地面水文觀測手冊」[3]。本

研究之流速量測儀器採用手持式雷達波表面流速儀與旋杯式流速儀(如圖 5 所示)，水深採用重錘或測桿。其中，平均流速量測結果將作為後續水理分析驗證之用



圖 5 本研究水文量測設備

流量推估採用流速面積法(如圖 6 所示)。藉由手持式雷達波流速儀量測渠道之表面流速，再以旋杯式流速儀量測之平均流速，即可計算流速比(如有流速比，未來可以利用表面流速推估流量)，如式(2)所示。最後，將平均流速乘以通水斷面積以計算流量，如式(3)所示。雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工水文調查及量測結果，如表 2 所示。其中，實際放流量為雲林管理處提供量測當日之測站流量資料，量測流量為本研究量測資料。

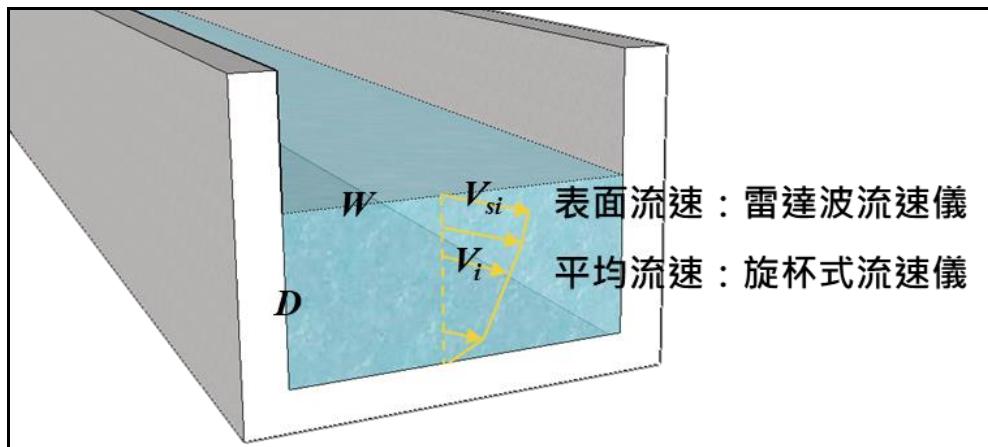


圖 6 流速面積法與坐標系統示意圖

$$k = \frac{\text{平均流速(m/s)}}{\text{表面流速(m/s)}} = \frac{V_i}{V_{si}} \quad (2)$$

$$Q = AV_i = W \times D \times k \times V_{si} \quad (3)$$

式中， V_i 為平均流速(m/s)， V_{si} 為表面流速(m/s)， A 為通水斷面積(m^2)， W 為渠道寬度(m)， D 為水深(m)。

表 2 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工水文調查及量測結果

圳路	實際放流量 (m ³ /s)	表面流速 (m/s)	平均流速 (m/s)	流速比 (k 值)	渠道寬度 (m)	水深 (m)	量測流量 (m ³ /s)	流量比	備註
雲林鹿場課圳 4 號跌水工	12.73	1.8	1.54	0.86	6.30	0.90	8.76	0.69	測站離場址有差距，故流量有些微差異
雲林鹿場課圳 5 號跌水工	12.73	1.9	1.65	0.87	6.30	0.90	9.37	0.74	
雲林鹿場課圳 6 號跌水工	12.73	1.7	1.45	0.85	5.60	1.00	8.11	0.64	

註：量測日期：111 年 6 月 30 日

4、選配機組發電潛能

利用前述之水頭與流量資料，評估機組適用之水力條件是否合適該場址，即可初步篩選適用機組。意即先利用歷年流量資料取得流量範圍，接著比對既有機組資料之適用流量範圍，再比對既有機組資料之適用水頭範圍，即可計算各適用機組每年平均可用於發電之放流天數，如表 3 所示。如採離槽式設計，則可用水頭與流量將可能小於原渠道水力條件，於篩選機組時需留意可用之水頭與流量剩餘量。

表 3 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工開發可行性評估分析表

圳路	適用機組	每年平均可用放流天數	可行性評估
雲林鹿場課圳 4 號跌水工	1. 垂直渦流式(1~9 m ³ /s)	219	1. 可用放流天數最多之機組：橫流式。 2. 左右岸鄰近圳路為國有地，其餘為私有地(農地) 3. 水體濁度較高，需評估泥砂量是否適合設置。
	2. 水斗式 (0.1~10 m ³ /s)	263	
雲林鹿場課圳 5 號跌水工	3. 貫流式 (0.5~3.5 m ³ /s)	24	4. 可設置型式：在槽式或離槽式均可。
	4. 橫流式 (0.4~4.6 m ³ /s)	38	
雲林鹿場課圳 6 號跌水工	5. 橫流式 (3~25 m ³ /s)	289	4. 可設置型式：在槽式或離槽式均可。
	6. 螺旋式 (0.3~10 m ³ /s)	263	

最後，如採最大每年平均可用於發電放流天數之機組(表 3 之橫流式，289 天)，則依該機組之適用條件乘上年平均適用放流天數，即可得年潛能發電量，再由年潛能發電量反推選配機組發電潛能，如表 4 所示。

表 4 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工發電潛能列表

圳路	水頭 (m)	近 5 年放流量(m ³ /s)		理論發電潛能 (kW)	選配機組潛能發電量 (度/年)	選配機組 發電潛能 (kW)
		最小	最大			
鹿場課圳 4 號跌水工	3.15	0.57	13.77	7.04 ~ 255.05	182,880 ~ 1,700,426	25.0 ~ 232.5
鹿場課圳 5 號跌水工	0.63	0.57	13.77	1.41 ~ 51.01	54,197 ~ 340,085	7.4 ~ 46.5
鹿場課圳 6 號跌水工	1.77	0.57	13.77	3.95 ~ 143.31	152,267 ~ 955,478	20.8 ~ 130.6

5、可能實際發電潛能

因現地量測流量可能與測站量測值有差異，故計算流量比(現地量測值/測站量測值)作為流量折減(如灌溉用水取用、蒸發等因素)或增加(如其他水流匯入)之參考。以選配

機組發電潛能乘上流量比，即可獲得可能實際發電潛能(因現地量測僅為單一值，無法以一次量測值作為代表，故為「可能」)。

四、水理分析

由於各渠道之灌溉與水量係依設計流量與灌溉需求進行規劃，並非配合小水力發電設施之需求。因此，如欲直接於渠道中設置小水力發電設施(在槽式)，將可能導致水體溢出之風險，故須進行水理模擬分析檢討，離槽式因新設渠道/管線之坡度、引水量、路線及位置均無法確定，故無法進行模擬。

本研究水理分析採用 HEC-RAS 模式，分析圳路於通水斷面減少情況下之情形下，對渠道通水能力之影響。HEC-RAS 模式為美國陸軍工程師團水文工程中心研發之水理分析模式，利用能量方程式以標準步推法求各斷面水位與流速等情況，可處理超臨界流與亞臨界流交替出現之混合流況，作為分析渠道之水理情形與檢討輸水能力。

本研究利用渠道斷面資料，以 HEC-RAS 模式建立模型，並利用平均流速之實測資料進行水理模擬驗證與分析。本研究設定之 HEC-RAS 模式參數，曼寧粗糙係數 n 值取 0.015~0.016(混凝土面)，上下游水位設定為臨界水位，並代入各測點之實測流量資料進行模擬驗證，驗證後即以此模型條件進行模擬，分析圳路於通水斷面減少一半(由於各機組影響通水斷面之程度不同，故以減少一半為例進行模擬分析)之情況下，對渠道通水能力之影響。

雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工模擬範圍為 4 號跌水工上游至 6 號跌水工下游(如圖 7 所示)，模擬結果如表 5 所示。量測與模擬結果之流速相對誤差 1.30~3.03 %，故以此模型條件進行模擬分析。

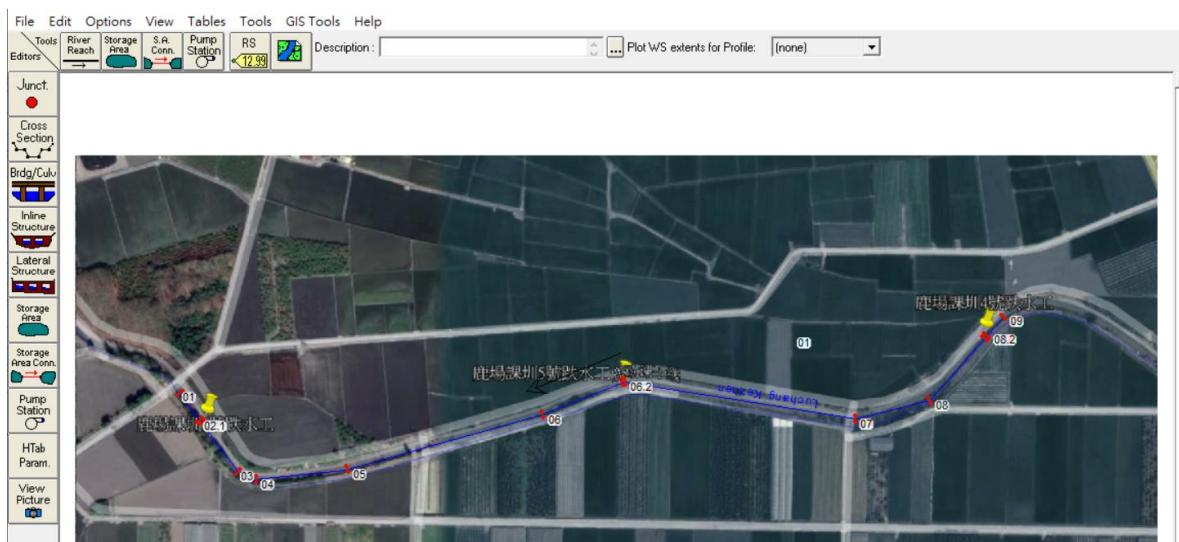


圖 7 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工水理模式建置示意圖

表 5 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工實測流速與模擬結果比較表

斷面	累距(m)	渠頂高程(m)	渠底高程(m)	模擬流速(m/s)	量測流速(m/s)	相對誤差(%)
8.1	28	53.92	51.22	1.52	1.54	1.30
4	792	50.464	47.76	1.60	1.65	3.03
2	875	48.92	46.22	1.47	1.45	1.38

本研究分別探討於鹿場課圳 4 號跌水工下游、5 號跌水工下游、6 號跌水工下游設置小水力發電機組，以及 4、5、6 號跌水工下游均設置小水力發電機組等 4 個方案進行模擬分析，如下：

1、方案 1：雲林鹿場課圳 4 號跌水工下游(斷面 8.1)設置小水力發電機組

模擬結果如圖 8 所示。設置小水力發電機組後，上游水位將抬升 0.26~0.88 公尺，最小出水高剩餘 0.53 公尺，水體無溢出風險。

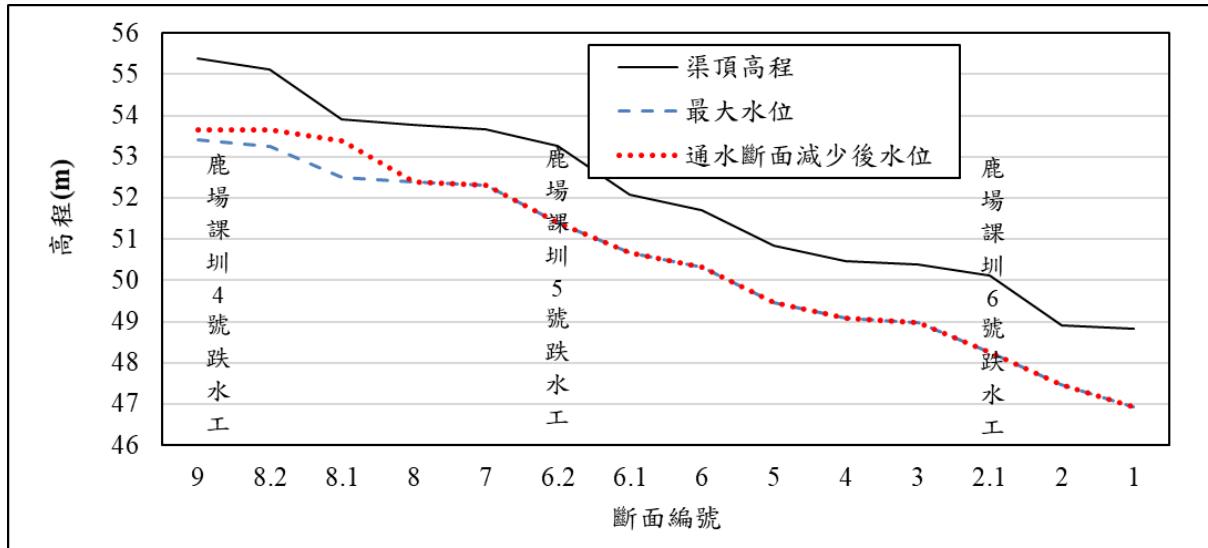


圖 8 雲林鹿場課圳 4 號跌水工設置小水力發電機組後水位變化示意圖

2、方案 2：雲林鹿場課圳 5 號跌水工下游(斷面 6.1)設置小水力發電機組

模擬結果如圖 9 所示。設置小水力發電機組後，上游水位將抬升 0.41~0.86 公尺，最小出水高剩餘 0.53 公尺，水體無溢出風險。

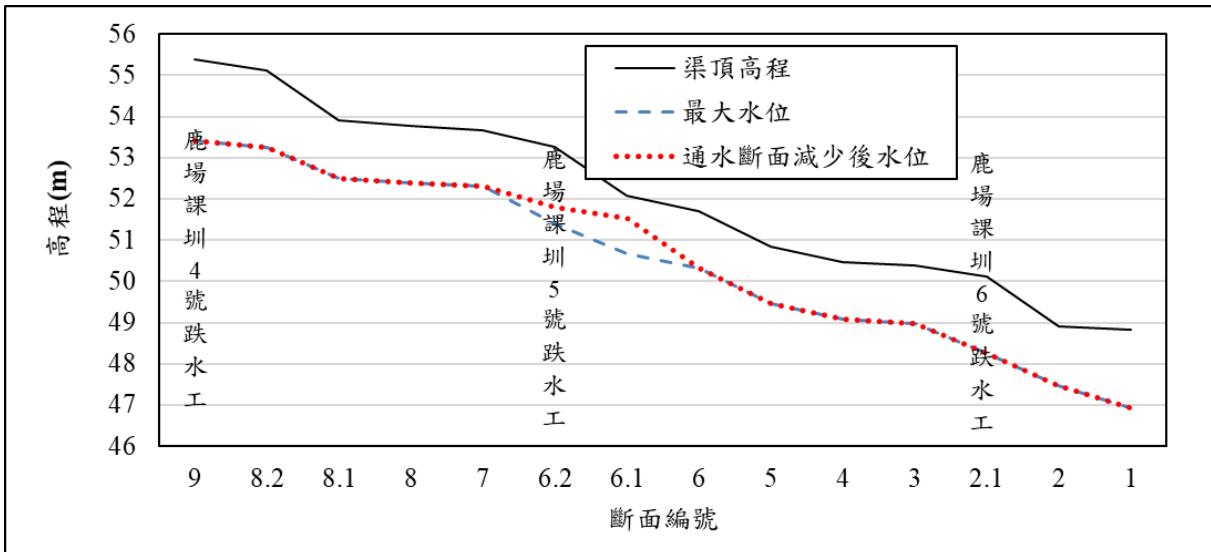


圖 9 雲林鹿場課圳 5 號跌水工設置小水力發電機組後水位變化示意圖

3、方案 3：雲林鹿場課圳 6 號跌水工下游(斷面 2)設置小水力發電機組

模擬結果如圖 10 所示。設置小水力發電機組後，上游水位將抬升 0.43~0.91 公尺，最小出水高剩餘 0.53 公尺，水體無溢出風險。

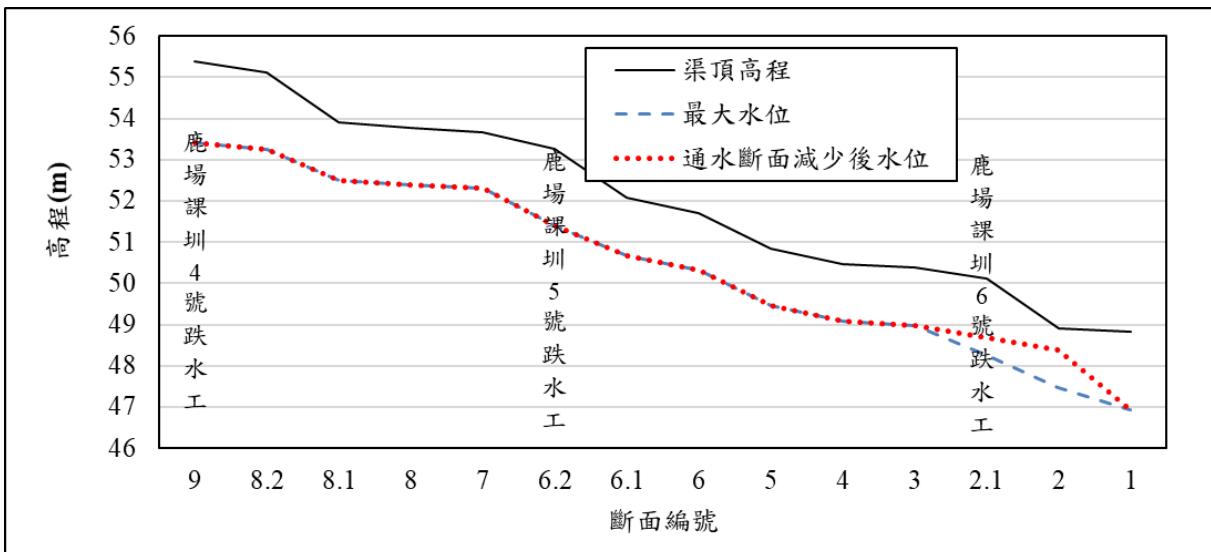


圖 10 雲林鹿場課圳 6 號跌水工設置小水力發電機組後水位變化示意圖

4、方案 4：鹿場課圳 4、5、6 號跌水工下游設置小水力發電機組

模擬結果如圖 11 所示。設置小水力發電機組後，整體水位將抬升 0.26~0.91 公尺，最小出水高剩餘 0.53 公尺，水體無溢出風險。

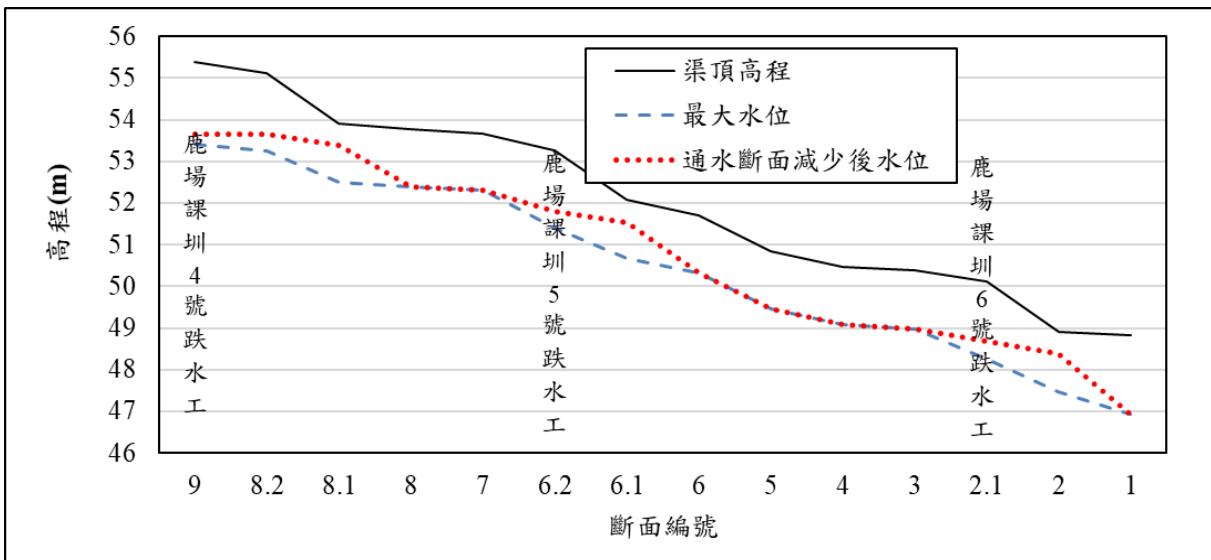


圖 11 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工設置小水力發電機組後水位變化示意圖

5、小結

原則上，當發電設備造成通水斷面減少一半時，無論機組設置於雲林鹿場課圳 4 號、5 號或 6 號跌水工處，對輸水能力均無影響，僅導致水位抬升但不至於溢出。如以保守起見，可於機組設置位置往上游局部加高兩側側牆。以出水高設定 1 m 為例，側牆加高(斷面改建)建議如圖 12 所示。

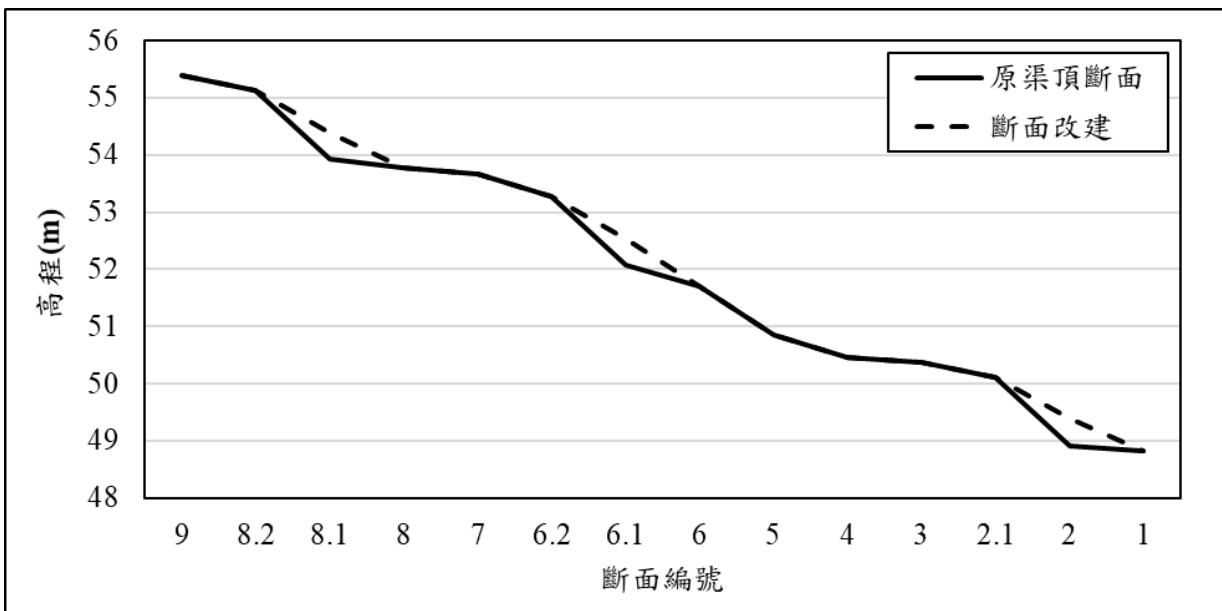


圖 12 雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工側牆加高示意圖

五、發電設備配置初步規劃方案

小水力發電機組設置後產生之電量，可採用售電(併聯電網)、申請再生能源憑證(併聯電網)、自發自用(併網或離網)以及儲電(離網)等方式。以目前農田水利署各管理處公開招商案件之實務作法，係以售電為主，亦有申請再生能源憑證。

綜合前述評估結果，以及調查場址鄰近之台灣電力股份有限公司變電箱位置，本研究初步規劃雲林鹿場課圳4、5、6號跌水工之發電設備配置方案，如表 6~表 8 所示，可作為未來雲林管理處推動公開招商之參考。

表 6 雲林鹿場課圳 4 號跌水工發電設備配置初步規劃方案

建議 機組	發電設備配置規劃方案	
	方案 1：在槽式	方案 2：離槽式
橫流式 (0.1~2 m^3/s)	<p>圖例 ● 電桿 ○ 變電箱 ■ 評估水力發電 機組設置範圍</p> <p>173 m</p> <p>131 m</p> <p>如擬造成左右岸水流溢出，則需加高側牆。</p>	<p>圖例 ● 電桿 ○ 變電箱 ■ 評估水力發電 機組設置範圍 新建渠道</p> <p>取水閘門</p> <p>出流閘門</p>

1. 需設置取水閘門與出流閘門。
2. 需取得用地許可(國有地)。
3. 未來規劃設計時需留意土地使用分區，避免設置於特定農業區。

表 7 雲林鹿場課圳 5 號跌水工發電設備配置初步規劃方案

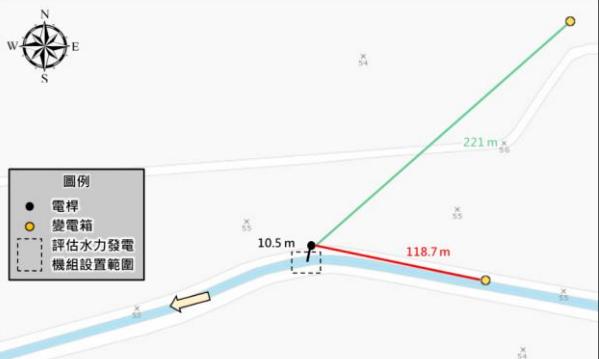
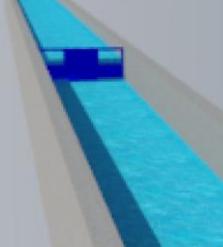
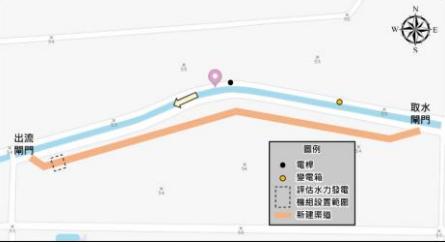
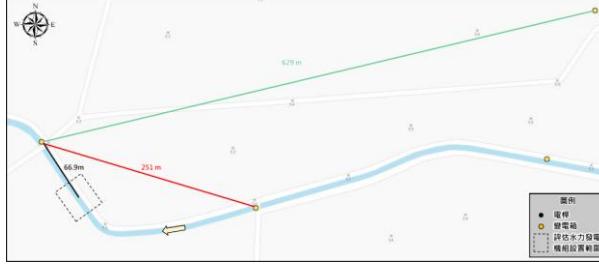
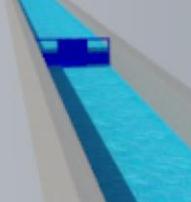
建議 機組	發電設備配置規劃方案/農田水利建造物改建規劃	
	方案 1：在槽式	方案 2：離槽式
橫流式 (0.1~2 $m^3/s)$	   <p>如擬造成左右岸水流溢出，則需加高側牆。</p>	 <p>1. 需設置取水閘門與出流閘門。 2. 需取得用地許可(國有地)。 3. 未來規劃設計時需留意土地使用分區，避免設置於特定農業區。</p>

表 8 雲林鹿場課圳 6 號跌水工發電設備配置初步規劃方案

建議 機組	發電設備配置規劃方案/農田水利建造物改建規劃	
	方案 1：在槽式	方案 2：離槽式
橫流式 (0.1~2 $m^3/s)$	   <p>如擬造成左右岸水流溢出，則需加高側牆。</p>	 <p>1. 需設置取水閘門與出流閘門。 2. 需取得用地許可(國有地)。 3. 沿岸有許多樹木，建議需注意設置。 4. 未來規劃設計時需留意土地使用分區，避免設置於特定農業區。</p>

六、結論與建議

本研究以目前雲林管理處推動中之雲林鹿場課圳為例，針對雲林鹿場課圳 4、5、6 號跌水工之小水力發電潛力場址進行評估分析。各場址之發電潛能均可先行利用公式進行理論值估算，但由於市面上小水力發電機組種類與型式眾多，適合設置之方式與條件以及綜合效率均不同，再加上圳路並非全年度均維持同樣之放流量，故不同機組可用於發電之放流天數均將有差異。除此之外，測站量測之流量值有時與評估之潛力場址有相當距離，此段距離中可能會有流量折減(如灌溉用水取用、蒸發等因素)或增加(如其他水流匯入)等，故需再以現地量測值進行比較。意即最後如設置小水力發電機組實際產生之發電量，將會與理論值計算結果有很大差異。以雲林鹿場課圳 4 號跌水工計算，最大理論發電潛能為 255.1 kW，選配機組後之發電潛能為 232.5 kW，如再考量流量比 0.69，則可能實際發電潛能為 159.9 kW。

另外，於圳路設置小水力發電機組，以在槽式設計時，將導致圳路上游水位抬升，可能影響渠道原有灌溉功能或造成溢淹。因此，為保守起見，建議可採用離槽式設計，但此將增加建置成本以及需考量使用鄰近用地問題。無論採用在槽式或離槽式設計，均需進行水理分析計算，以瞭解機組設置後之影響範圍與程度，並研擬相對應之解決對策，以及規劃發電設備配置方案。因此，本研究以案例方式進行評估分析，可作為未來推動公開招商之參考。

七、參考文獻

1. 農業部農田水利署，「111 年度全臺農田水利設施小水力發電潛力評估計畫」，2022。
2. 經濟部水利署，「小水力發電之潛能調查及評估計畫」，2019。
3. 經濟部水利署，「地面水文觀測手冊」，2012。