



結合氣候變遷與遙測影像資源應用於 坡地農村開發小水力發電評估研究

計畫主持人：吳俊鎡 副教授

執行單位：逢甲大學水利工程與資源保育學系

115年01月27日

優質 · 效率 · 團隊



報告大綱

- 小水力發電背景與國際相關文獻分析
- 農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估
- 未來氣候變遷下山坡地農村發展小水力發電之可行性評估
- 台灣山坡地農村適合發展小水力發電之條件篩選與未來發展方式評估

- 上述大綱為本計畫當時工作項目，本次報告有增加部分自行研究內容，提供參考。

優質 · 效率 · 團隊



小水力發電背景與國際相關文獻分析

發電等級區分

國際學術期刊對依據發電量進行定義，區分出6種等級。

水庫發電屬於中或大等級，由政府興建。

在小等級以下，基本上都是在河川內直接發電的類型，可由人民或團體興建，且都是提供當地使用為主。

本研究談論的是以川流式發電為主。

分類	發電量級距	概估可提供用戶數	電力使用
細微(Pico)	0 kW – 5 kW	0 – 5	提供小型社區或農村使用
微(Micro)	5 kW – 100 kW	5 – 100	
迷你(Mini)	100 kW – 1 MW	100 – 1,000	
小(Small)	1 MW – 10 MW	1,000 – 10,000	提供社區或農村，或匯入主體電網。
中(Medium)	10 MW – 100 MW	10,000 – 100,000	匯入主體電網。
大(Large)	100 MW 以上	100,000 以上	

備註：kW 為千瓦，MW 為百萬瓦，GW 為十億瓦。



國際對低碳綠色能源的重視

核能發電與火力發電是過往30年世界各國主要的發電形式，但由於兩種發電方式的缺點，國際社會逐漸考慮是否有其他替代選項。

綜觀國際能源趨勢，本世紀最大挑戰之一是找尋具備環境可永續發展條件的能源，來提供給人口數仍在上升的人類社會，並降低對石油、煤炭的依賴

綠色能源：此能源能夠透過自然界的循環生產，且源源不絕，在生產的過程中，不會造成環境污染。(國家發展委員會)



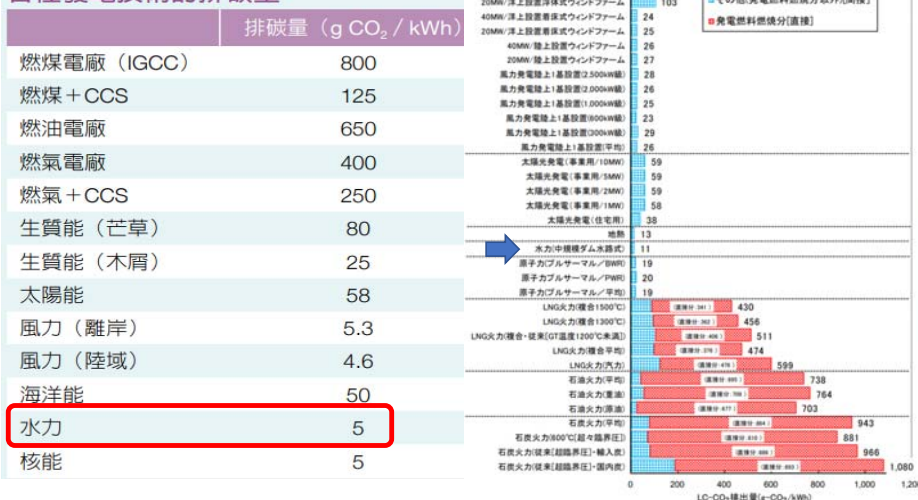
1,920 × 1,080

優質・效率・團隊

低碳排能源是小水力發電受重視的主因



各種發電技術的排碳量



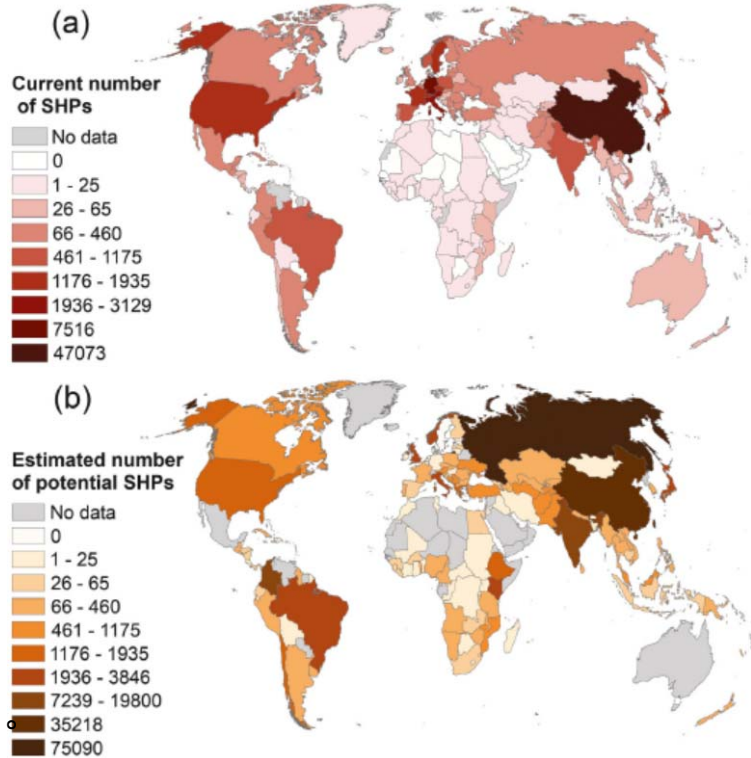
• 水力發電排碳量約為燃燒煤炭1/51，燃燒天然氣1/31

- 從各種版本對於各種發電技術排碳量估算，大概可瞭解**水力發電排碳量約在20以下**，接近風力與核能，但低於太陽能。目前水力發電是有包含水庫水力發電(較高碳排)，目前**尚無單純針對小水力發電的排碳量估算**。

優質・效率・團隊

世界各國目前發展與預測

- 各國小水力發電總數的發展跟該國的地理環境條件及相關法規給予的激勵措施有關。
 - 上升最快的是中國、歐洲、東亞
- 現況最多小水力發電總數
 - 中國：目前最高，有47,073座
 - 歐洲：有26,877座
 - 聯合國的**乾淨能源政策**是各國推動的主要力量。
- 未來小水電發電計劃預計會在**亞洲**、**美洲**、**南歐**和**東歐**以及**東非**大量開發。



小水力發電在國際仍有許多開發空間

Figure 7.
Small Hydropower Installed Capacity of ≤10 MW by Country (MW)

已經安裝小水力發電總容量

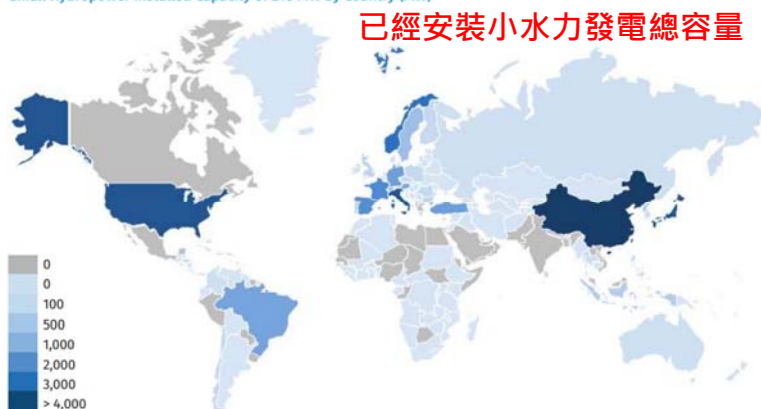
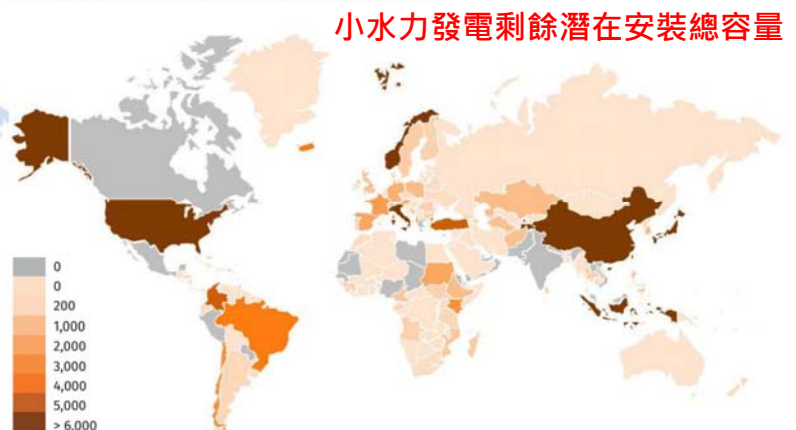


Figure 8.
Small Hydropower Potential Capacity of ≤10 MW by Country (MW)

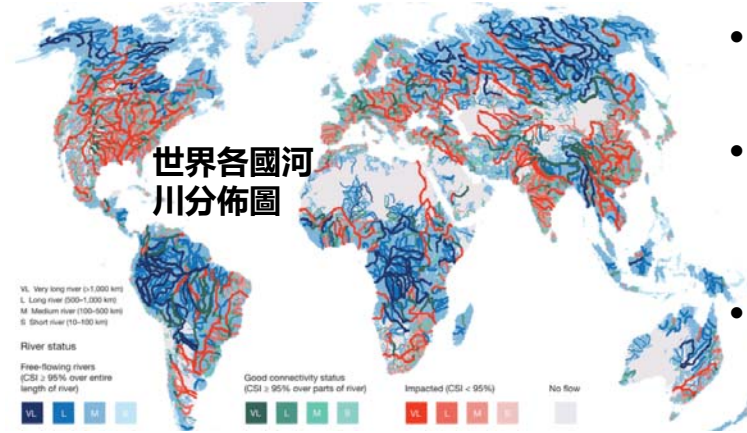
小水力發電剩餘潛在安裝總容量



- 以小水力發電2022年報告資料而言，**小水力發電佔全世界總發電容量1%**，且佔總水力發電裝置容量的**6%**。裝最多小水力發電分別為**中國、美國、義大利、日本和挪威**，這些國家合計佔小型水力發電總裝置容量的近**71%**。
 - 風力發電約佔總發電容量8-9%，太陽能發電約佔總發電容量6-7%。

小水力發電受重視主因：普遍河川環境及壽命長

世界各國河川分佈圖



- 世界各國幾乎都有河川環境，因此不難找到合適環境且容易興建。
- 比起風力發電與太陽能發電，小水力發電的技術門檻較低，**世界各國都不難具有小水力發電技術**。
- 發電設施使用壽命長
 - 風力發電設施壽命：20年(每6個月維護)
 - 太陽能發電設施壽命：25至30年。
 - **(水庫)水力發電設施壽命：超過80年。**



Hoover Dam · 1936年起



Schoellkopf Power Station · 1881年起

小水力發電在世界各國發展案例



巴西Abrasa案例，發電量可供1500戶用電

中國湖北省蒼坪河案例，發電量可供9100戶用電

巴西Ludesa案例，發電量可供30000戶用電

加拿大Rutherford案例，發電量可供49000戶用電

這些壩體工程在台灣都存在，但目前都沒有發電。
以台灣山坡地野溪而言，思考邏輯建議是從既有設備進行發電，而非興建新的工程。



台灣對低碳能源的需求

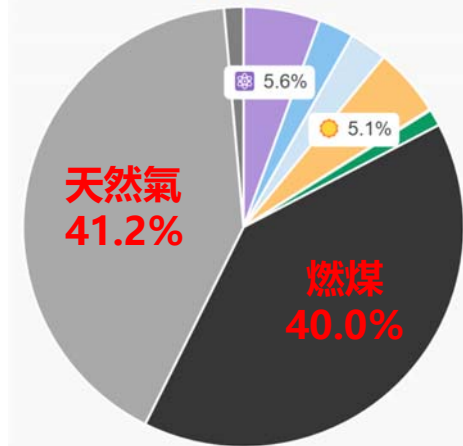
以2024年發電量來源數據：台灣發電量來自於**再生能源僅有17.3%**，2.8%來自風力、5.1%來自太陽能與**2.6%來自水力發電(多為水庫發電)**。

低碳能源對台灣的影響，除了**降低未來氣候變遷在降雨特性上的改變**以外，台灣電子業外銷產品也需要大量低碳能源。

國際RE100倡議影響眾多產業，對目前有**80%電力來自燃燒天然氣與煤炭(高碳排)**的台灣並不利。

除了風力、太陽能與水庫水力發電外，台灣是否還有其他再生能源開發選項可期待？

中華民國 (台灣) 2023/2024年的發電量
17.3% 低碳



knews.com.tw

<https://www.knews.com.tw> · 能源 ·

台積電再生能源僅佔11.2%遠低於英特爾的99% 專家 - 知新聞

2024年10月1日 — ... 英特爾的淨零策略最為積極，承諾在2040年實現溫室氣體淨零排放，而三星、美光、台系業者包括台積電、聯電和日月光則承諾於2050年實現淨零排放。值得 ...



遠見雜誌

<https://www.gvm.com.tw> · 產經，低碳永續 ·

搶食綠電大餅！台積電喊「有多少就買多少」，雲豹、泓德小 ...

2025年7月7日 — 台積電對再生能源的投入早已有跡可尋。2023年，台積電將RE100目標從原訂2050年提前至2040年，並推動長達20年、總量達200億度的聯合綠電採購計畫，替供應鏈 ...

除了再生能源以外考量

電力來源過於集中：台灣電力來自於**火力發電廠(台中火力發電廠，佔35.5%)、天然氣發電廠、核能發電廠(核二核三)**，前面三項佔90%。只要一個來源出問題就會發生停電

分散電網是業界建議未來台灣電力供應方式。傳統主體電網仍存在且供電，但各**地區都必須要有備用電源**。

靠海地區：風力發電、潮汐發電

南部地區：太陽能發電

山坡地：水力發電

這些小型發電優先供當地使用，降低電力鋪設成本。

集中式電網



分散式電網



堰壩水力發電

既有電路系統



國際案例：挪威

挪威平均高程為460m，中央有山脈連貫。年降雨量約1000mm。挪威非常重視生態環境棲地的保護。挪威在世界小水力發電量排名第五。挪威大約有 1,100 座小型水力電廠。挪威在小水力發電的發展值得台灣重視與學習。

根據 2022 年數據，挪威水力發電佔全國電力組成的 95%，是所有國家中佔比最高。等同該國家輸出的產品幾乎都是低碳產品。

2023年人均二氧化碳排放量：挪威7.98 公噸、日本8.17、中國10.24、台灣11.09、美國15.75。



優質・效率・團隊



挪威Øvre Forsland 小水力發電

- 這是一個直接在河道上方興建的發電廠，河道水流會全部流入發電廠，發電後再流出。
- 台灣的防砂壩、固床工也是如此結構。
- 該發電廠並未產生魚類生態影響問題。
- 水量來自於降雨跟融雪，也會有水量豐沛跟完全無水的情況。
- 採用兩部 Francis 渦輪發電機（各 5 MW），總裝機容量約 10 MW，每年發電量約 33 GWh，可供應約 1,700 戶家庭使用。
- 一條河川可以興建多個點位，只要流速恢復達可以發電程度，就可以再興建第二座。
- 被評為世界上最美的水力發電站

日本農村發展小水力發電案例

日本跟台灣都面臨相近的問題

- 311地震讓日本思考**是否還有核能以外的電力來源選項**
- 日本地貌與年降雨量都跟台灣相近
- 日本農村也出現人口外移與老化等問題



311福島核災事件



311地震後，日本開始推行小水力發電，**主管單位日本國際協力機構(JICA)電力發展部提出「小規模水力發電指引與手冊」**，並在各地開始推動小水力發電。

日本農村發展小水力發電案例

在日本，小水力發電被視為可靠且可持續的電力來源，**只要地方擁有足夠數量的未利用水流量，就會大力開發和採用小水力發電。**

近年日本政府簡化了水權申請制度，並設定在全國範圍內啟動數千個小水力發電計畫的目標。

過往人們為灌溉目的而建造許多小型水渠，其中一些灌溉水渠至今仍在**使用**。其他一些雖然狀況良好，但仍處於**閒置狀態**。這些水渠越來越多地被用於生產小水力發電，以促進地方發展。



石川縣農村的生活排汙淨化槽處理後匯入農用灌溉渠道



石川縣農村的生活排汙淨化槽處理後匯入農用灌溉渠道

佐賀縣吉野ヶ里町松熊村小水力發電案例

松熊村位於九州福岡市鄰近，總面積約2.7平方公里，該村落有43戶136人，農業為主要經濟活動

多年來，該社區面臨著**人口老化、年輕人口外流及農田、道路、灌溉系統和水道退化**等日益加劇的壓力。留下來的家庭正在尋求**重振村莊生活和當地社會經濟活動**，並提高社會福利和永續性的方法。

2016年，日本政府經過全面評估，認定松熊村是**小水力發電理想地點**，該村可依據其現有的農業灌溉渠道，而興建一座30千瓦小水電廠，可為九州電網穩定供電。

中央政府初步選定，並告知社區。



佐賀縣吉野ヶ里町松熊村小水力發電案例

利用瀨井關防砂壩體，並從該壩體上游取水，並興建排水溝渠將水源引至位於較下游小水力發電站。



神埼郡吉野ヶ里町松隈地区で小水力発電完成（2020年11月）



位置	日本佐賀縣吉野ヶ里町松熊村
電力容量	30KW
取水位置	原農業灌溉圳路
興辦方式	公務單位與私人企業共同合作，公務單位為日本佐賀縣政府與松熊村社區發展協會
興建成本	60萬美元，分20年貸款
所有權	100%歸當地社區發展協會
興建時間	2020年
經濟效益	發電電力供當地使用，也賣給日本電力公司
環境效益	再生能源產出，每年降低18噸CO2排放量，經濟效益所得金錢用於維護該農業灌溉圳路，也促進當地土地與山坡地地貌維護
社會效益	訓練當地居民具有自主維護小水力發電設施20年能力。

這項投資在**興建後第9年即回本**，小水力發電站預計維持**20年**，**等同從第10年起都是淨獲利**。

佐賀縣吉野ヶ里町松熊村小水力發電案例



Item	Value
Turbine	Cross-flow
Total output	30 kW
Electricity generation per year	212 MWh (est.)
Site condition and parameters of the plants	Source of water – Ichinose izeki sabo dam Effective head – 20.4 m Design discharge – 0.22 m ³ /s
Turbine	Cross-flow T14 (D225, B270) from Asosiasi Hidro Bandung (Indonesia) Efficiency of the turbine – 76%
Type of generator	IPM generator from Yasukawa Electronics (Fukuoka, Japan) Generator spec – 850 rpm, 45 kW Generator/GD/DC efficiency = ~95/95/95%

- 預計每年產電總量：212 MWh
- 有效水頭落差：**20.4m**
- 設計流量：**0.22 cms**
- 馬達效率：76%
- 配備**智慧物聯網 (IoT)全自動監控**，記錄各種數據，包含淨水頭、出力、總發電量、軸承溫度、導葉控制等。這代表這個硬體工程需要人協助的程度非常低。

- 小型水力發電廠採用**舊貨櫃作為發電站**，所有機械、電氣和控制設備均在工廠預先安裝。貨櫃屋發電站可降低安裝過程的成本和時間。**現場安裝貨櫃發電站僅需幾個小時。貨櫃屋發電站還可以根據需要移動至其他地點。**



松熊村小水力發電案例

- 興辦方式：日本佐賀縣政府(公務單位)與松熊村社區發展協會(私人企業)共同合作
- 興建成本：**60萬美元，分20年貸款**，約1年3萬美元，合台幣81萬，合每個月6.5萬台幣。由當地居民共15戶共同承擔，**等同每一戶每一個月還款4333元台幣。**
- 估計小水力發電廠每年將產生約 212 兆瓦電力，等同**每年收入約為 700 萬日圓，合4.76萬美元。**
- **社會效益：**小水力發電站在當地**創造至少20年小水力發電廠維護與管理就業機會。**
- **環境效益：**松熊小水力發電廠每年發電212兆瓦時，預計可減少**每年118噸二氧化碳排放量。**



現有灌溉水路被引流到發電廠，發電後的水量再回到農業灌溉上。引流量先儲存在一個6立方公尺的小型鋼製水箱中，然後透過壓力水管驅動渦輪機旋轉。

總投資約**46萬美元**，由單一開發商
自籌資金，預期每年回收**6.75萬美元**。
在營運後第7年收回成，**代表第8年
到第20年都會是淨利潤**



Figure 1. The head tank from the intake



SWCB
中國大地—華子
— SINCE 1961 —

- 規劃設計施工：2013-2018，正式發電：2018/3
- 該發電廠利用一條灌溉渠道，並使用三瀨村一座舊鋸木廠的舊址相連。
- 土木工程由當地居民自行完成，該發電廠也將成為三瀨村社區互動的場所。
- 發電量：平常3KW，最高發電3.8KW
- 設計流量：0.09cms，有效落差：5m
- 投資金額：800萬日圓，每年賣電回收：60萬日圓



日本其他農村小水力發電案例



大日正 昴 小水力發電所



井手野毘沙門堂發電所



白糸小水力發電所



松隈小水力發電所



あば村小水力發電所



こども水力發電所in戸豊水

- <https://www.ri-vi.com/projects>
- 多數案例都像貨櫃屋或一間廁所一樣。對環境影響非常小。
- 在20年營運規劃中，幾乎每一個案例都可以在10年內回本，剩餘一半時間都是淨利潤。

優質

22

日本農村值得台灣農村參考的經驗與內容

主管單位帶頭規劃，通知符合條件村落。

需要多大的流量才能發展小水力發電？

松熊村(0.22cms，有效水頭20.4m)、大竹村(0.07cms，有效水頭63m)、石徹白村(0.33cms)，**防砂壩體提供水頭落差是關鍵。**

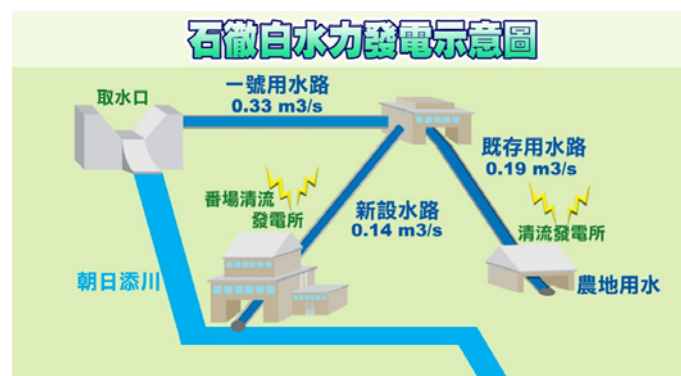
發電站興建會破壞環境或人員管理？

日本農村都使用可移動式貨櫃屋，所有發電儀器都在貨櫃屋內，當地只需要興建引水渠道。搭配IOT設備，遠端管理居多。

水力發電會造成環境棲地影響？

少，發電後流量回流河川，且無污染。

給他魚，不如教他釣魚：如何利用這筆收入，協助坡地農村永續發展？

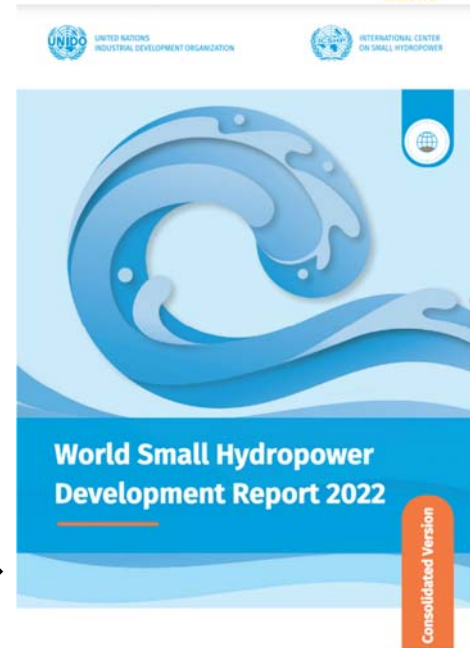


各國發展小水力發電給予建議發展流程

小水力發電發展報告(WSHDR)2022年版給予各國 河川管理單位發展小水力發電的七點建議：

- 進行詳細小水力發電資源評估
- 制定適當政策和法規
- 促進獲得可持續融資來源
- 提升或引入小水力發電行業所需取得設備與技術
- 提供可靠基礎設施
- 提高當地小水力發電技能和專業知識
- 加強國際和地區間合作

小水力發電發展可符合SDG 6淨水及衛生、SDG7
可負擔潔淨能源、SDG 9工業化、創新及基礎建設、
SDG 13氣候行動等永續發展指標。



國際專家對於台灣發展小水力發電建議

- 台灣水力發電已開發約2GW(百萬瓩)，**未來還有10GW潛能**(水律能源執行長陳谷汎)
- 台灣擁有豐富的天然資源，**有高山、降雨量豐富，發展小水力發電一定有機會。**(日本小水力發電株式會社社長半田宏文)
- 台灣**逾3千公尺高山，有300多座**，日本僅21座；加上台灣**年均降雨量在全球僅次印尼**，條件比日本好。**台灣條件比日本更好，日本已是全球排名第五的水力發電大國**，台灣發展小水力發電有優越條件。(日本小水力發電株式會社社長半田宏文)
- **地形落差跟河川流量**是小水力發電關鍵。



792 x 44





農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估

研究區域說明

南投縣信義鄉明德村與豐丘村是本研究所設定山坡地農村，本研究以郡坑溪與十八重溪為主要研究野溪集水區。

先瞭解研究區域過往降雨逕流關係，鄰近流量站為內茅埔站水位流量站，採用雨量站則為豐丘雨量站與和社雨量站。

坡地社區少有地下水位資料，因此利用研究區域內地貌組成來評估。

地貌資料採用植生分布與土地利用分布，NDVI資料將採用Sentinel 2影像遙測影像，土地利用變化則採用Dynamic World雲端資料庫資料進行分析。

分析時間為2015至2024年之10年資料。



本研究以位於豐丘村內的郡坑溪與十八重溪為研究河段。

NDVI數據



NDVI 值	2015	2016	2017	2018	2019
≤0	0.4	0.51	0.40	0.75	0.25
0 至 0.2	4.0	3.73	5.43	6.23	5.31
0.2 至 0.4	6.2	6.93	9.07	11.84	9.90
0.4 至 0.6	21.6	18.72	21.91	19.27	23.24
0.6 至 0.8	64.0	60.07	62.16	58.23	58.67
0.8 至 1.0	3.9	10.03	1.03	3.68	2.64
平均值	0.626	0.637	0.590	0.584	0.592
NDVI 值	2020	2021	2022	2023	2024
≤0	0.49	0.34	0.19	0.15	0.41
0 至 0.2	5.06	5.84	16.65	18.48	14.44
0.2 至 0.4	8.74	11.78	51.60	51.43	57.39
0.4 至 0.6	24.51	25.48	31.56	29.94	27.75
0.6 至 0.8	60.69	55.97	0.00	0.00	0.00
0.8 至 1.0	0.51	0.58	0.00	0.00	0.00
平均值	0.582	0.566	0.324	0.317	0.322

備註：數值為該區間佔全集水區面積百分比。

2015年至2016年平均值超過0.6，2017年至2021年則介於0.5至0.6之間，**2022年至2024年則下降到0.35以下**，郡坑溪與十八重溪集水區植生茂密度降低，也代表會反應在豪雨期間洪水流量更高，而在旱季期間流量降更低現象。

28

土地利用數據



種類	2015	2016	2017	2018	2019
水體	1.8	1.7	3.8	4.3	3.0
喬木	94.8	94.2	92.1	89.7	91.3
草地	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
洪泛地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
農作物	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1
灌木	1.2	1.7	1.6	2.7	3.4
人為建物	0.6	0.6	0.6	1.1	0.7
裸露	0.8	1.0	1.2	1.1	0.9
冰雪地	0.4	0.4	0.2	0.8	0.4
種類	2020	2021	2022	2023	2024
水體	1.4	2.4	1.7	2.1	0.9
喬木	93.2	92.5	93.4	91.7	93.5
草地	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2
洪泛地	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
農作物	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3
灌木	2.8	2.8	2.1	2.6	2.1
人為建物	0.9	0.8	1.0	2.1	1.6
裸露	1.0	0.9	1.0	0.8	1.3
冰雪地	0.4	0.3	0.3	0.5	0.2

備註：數值為該區間佔全集水區面積百分比。

喬木佔**89.7%以上**，灌木佔約**1.2%至3.4%**之間，農作物都佔全集水區**0.5%以下**，**人為建物則佔全集水區約0.6至2.1%之間**。

29

十年雨量流量分析

小水力發電重於雨量在時間分佈上越均勻越好，代表一年四季野溪都會有流量產出。雨量過於集中或豪雨佔年降雨量比例過高都非好現象。

南投縣信義鄉明德村與豐丘村雨量分析

年平均降雨量為1772.7 mm(和社)至1858.3mm(豐丘)。

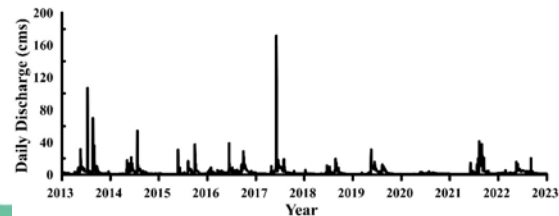
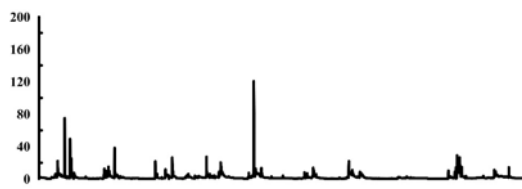
平均雨季降雨量佔年降雨量百分比：80.7% (和社)至81.2% (豐丘)

2017年6月月降雨量909.5mm (豐丘)至1222.5 mm (和社)。

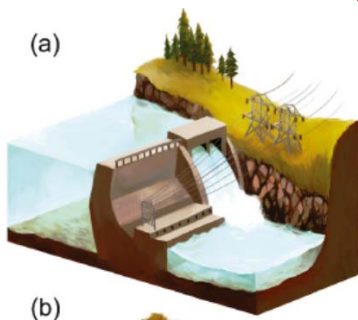
豐丘村有明顯的雨季旱季差異，且在雨季有降雨集中現象，這對旱季流量會有影響。

南投縣信義鄉明德村與豐丘村流量分析

此處並無長期流量站，本研究以排水面積比率法(DAR)，以內茅埔站流量站資料推估郡坑溪與十八重溪下游段流量。

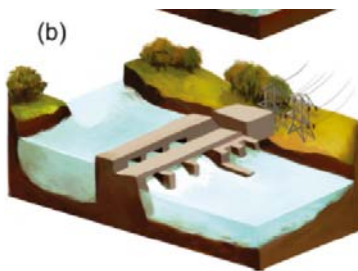


興建小水力發電可有四種類型



(a)

在槽築壩：在河道內興建壩體以提高水位落差，並在壩體溢洪口位置放置發電機組。



(b)

在槽導流：在河道內興建導流工程，並在導流道內放置發電機組。



(c)

在槽築壩且分流
在河道內興建壩體，但也興建引水道，將部分水流引致河岸旁發電機組，發電後的水量流回河川。



(d)

在槽築壩且分流至調整池並發電
在河道內興建壩體，但也興建引水道，將部分水流引致河岸調整池，再由調整池將水量引進發電機組發電，發電後的水量流回河川。

以過往資料估算小水力發電潛勢與效益

流量設定說明

- 情境1：取**全流量**進行發電：發電效率最高，但對野溪生態棲地環境影響最大。
 情境2：取**超過0.5cms流量**進行發電，保留0.5cms為野溪生態基流量。
 情境3：取**1/2流量**進行發電，降低對當地河川生態影響。
 情境4：取**1/2流量且超過0.5cms流量**進行發電，但流量超過9cms以上則設定不發電(crossflow發電機組發電流量上限9cms)

每年不發電日數：流量為0 cms或野溪流量超過9cms天數

經濟效益：民生用電電價費率3.4518元/度，用於估算提供當地使用的節省電費。台電購買綠色能源電力費率4.8936元/度，用於估算發電賣給台電所獲得經費(2023年數據)。

減碳效益：**水力發電**單位排碳量**18 gCO₂/KWH**，**燃煤發電**單位排碳量採用**燃煤及碳捕捉技術(CCS)200 gCO₂/KWH**，**燃天然氣發電**單位排碳量採用**燃煤及碳捕捉技術(CCS)170 gCO₂/KWH**。

郡坑溪出口處信義橋小水力發電潛勢評估



郡坑溪上游植生偏多，因此旱季少出現完全無水狀態。

土砂量多，但河川水流尚未形成繃狀。

流量(cms)	超越機率(%)	流量(cms)	超越機率(%)
0	100.00	10	2.44
1	52.88	20	0.79
3	17.26	30	0.22
5	8.30	40	0.14

10年流量資料：每年約有53%時間流量低於1cms，山坡地野溪流量時間分布特性。

以顧及生態考量的情境2-4，每年都能節省50至112萬，回收72至159萬。

情境設定	情境1	情境2	情境3	情境4
10年總發電度數(萬度)	439.3	324.9	257.5	147.3
平均年發電度數(萬度)	43.9	32.5	25.7	14.7
10年未發電天數	105	679	35	1591
估算流量低於0cms天數	1	584	1	1560
估算流量高於9cms天數	104	95	34	31

經濟效益，以下計算請採平均年發電數計算

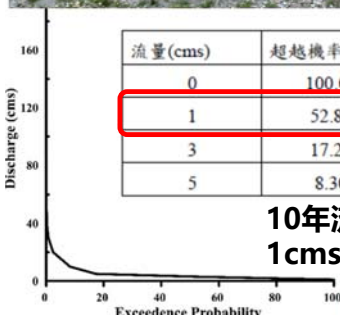
可供給幾戶用電(戶)	108.3	80.1	63.5	36.3
民戶用電節省金(萬元)	151.6	112.2	88.9	50.8
賣給台電回饋金(萬元)	215.0	159.0	126.0	72.1

減碳效益，以下計算請採平均年發電數計算

水力發電年排碳數(萬g)	1054.3	779.8	618.0	353.5
燃煤發電年排碳數(萬g)	8786.2	6498.3	5149.7	2946.2
燃氣發電年排碳數(萬g)	7468.3	5523.5	4377.2	2504.3

備註：情境設定1、2、3、4分別為採用全流量、取超過0.5cms流量、

採用1/2流量與採用1/2流量但取超過0.5cms流量。



十八重溪出口十八重溪橋小水力發電潛勢評估

土砂量多，河川水
流已成辮狀發展



情境設定	情境 1	情境 2	情境 3	情境 4
10 年總發電度數(萬度)	747.0	587.6	460.0	299.1
平均年發電度數(萬度)	74.7	58.8	46.0	29.9
10 年未發電天數	202	476	62	1252
估算流量低於 0cms 天數	1	294	1	1195
估算流量高於 9cms 天數	201	182	61	57

經濟效益，以下計算請採平均年發電數計算

可供給幾戶用電(戶)	184.2	144.9	113.4	73.8
民戶用電節省金(萬元)	257.8	202.8	158.8	103.3
賣給台電回饋金(萬元)	365.5	287.5	225.1	146.4

減碳效益，以下計算請採平均年發電數計算

水力發電年排碳數(萬 g)	1792.8	1410.2	1104.0	717.9
燃煤發電年排碳數(萬 g)	14939.7	11752.0	9200.2	5982.8
燃氣發電年排碳數(萬 g)	12698.8	9989.2	7820.2	5085.4

流量(cms)	超越機率(%)	流量(cms)	超越機率(%)
0	100.00	10	4.49
1	67.32	20	1.37
3	27.29	30	0.71
5	13.32	40	0.27

10年流量資料：每年約有67%時間流量低於
1cms，山坡地野溪流量時間分布特性。

以顧及生態考量的
情境2-4，每年能
節省103至202萬，
回收146至288萬。

以村落考量：豐丘村與明德村 明德村以郡坑溪進行小水力發電

明德村有644戶，以情境2考量：提供80戶用電
(0.13倍用戶)，節省經費112.2萬，轉賣台電可
獲得159萬元。(這筆錢對村落的效益)

以小水力發電提供用電，每年降低排碳數6500
萬g，約等同6.7公頃森林碳匯量。

豐丘村以十八重溪進行小水力發電

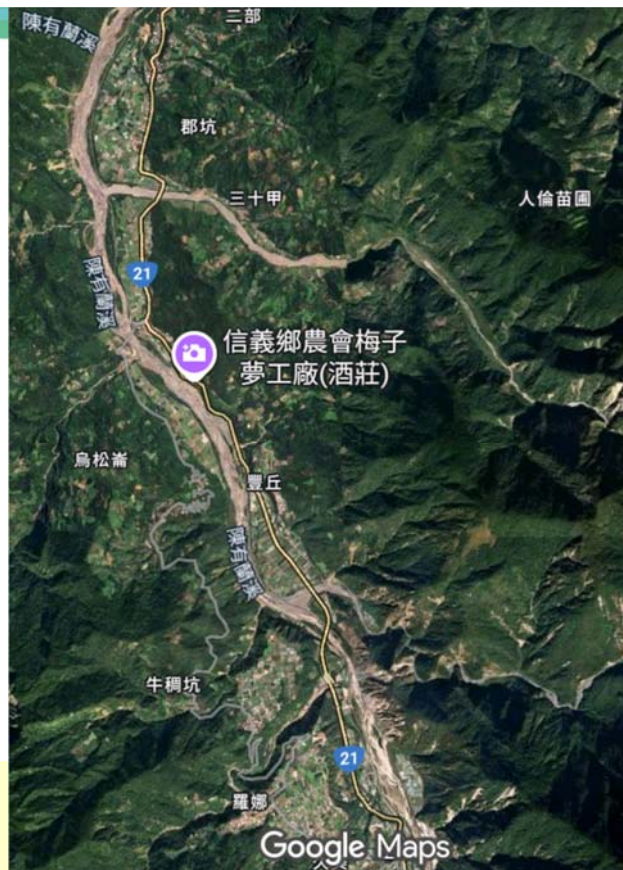
明德村有117戶，以情境2考量：提供145戶用電
(1.24倍用戶)，節省經費203萬，轉賣台電可獲
得288萬。

以小水力發電提供用電，每年降低排碳數11000
萬g，約等同11.3公頃森林碳匯量

若以多站考量的話，效益即為N倍。

備註說明：戶年平均用電4056度(台電2024年資料)

情境2為取超過0.5cms流量進行發電，保留0.5cms為野溪生態基流量
林業署資料：1公頃森林提供976萬g碳匯量





未來氣候變遷下山坡地農村發展小水力發電之可行性評估

未來氣候變遷下雨量分析：豐丘雨量站

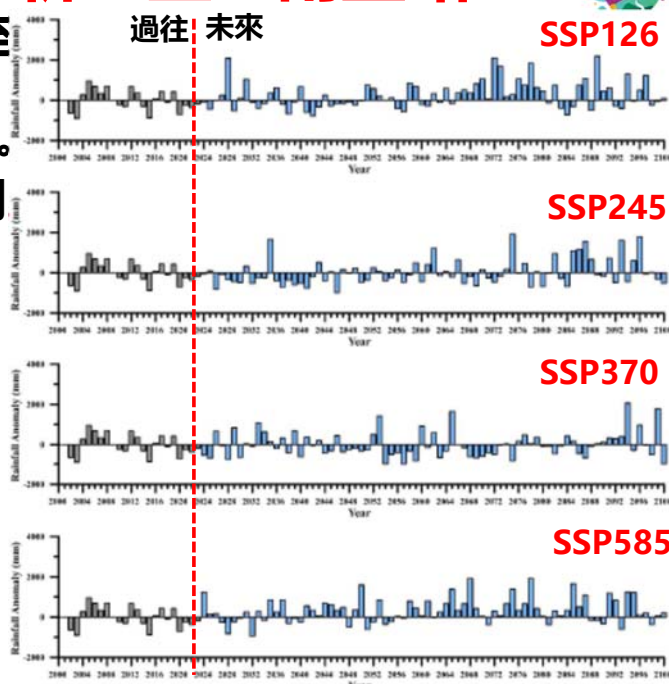


過往(2000年至2023年)與未來(2024年至2100年)年降雨量比較，以過往平均年降雨量為0，**正值(負值)**代表比平均值**高(低)**。

目前全世界處於SSP245至SSP370情境間，平均年降雨量約為過往1至1.17倍，**最大**年降雨量約比過往增加1.35至1.42倍，但**最小**年降雨量約為過往0.92至1.13倍：**洪枯加劇**。

未來雨季累積降雨量佔年降雨量百分比落在**79.2%至82.6%**之間。

未來**最大日降雨量**比較而言約為過往**1.18至1.38倍**，有明顯提升



未來氣候變遷下雨量分析：豐丘與和社雨量站



項目	平均值	標準偏差	最大值	最小值
2000 年至 2023 年實測值				
2000-2023	1991.8	532.4	2945.5	1087.0
2024 年至 2100 年預測值				
SSP126	2260.1	674.3	4181.3	1227.0
SSP245	2012.1	646.0	3902.6	997.7
SSP370	1991.6	631.0	4053.8	997.7
SSP585	2320.6	611.7	3904.8	1051.5

豐丘雨量站

項目	雨季百分比(%)			最大日降雨量 (mm)
	平均值	最大值	最小值	
2001-2023 實測	81.6	91.7	64.2	491.5
未來 SSP126	80.0	95.5	57.0	653.5
未來 SSP245	79.2	93.0	50.8	581.5
未來 SSP370	81.1	95.9	58.2	622.8
未來 SSP585	82.6	97.7	48.5	679.5

項目	平均值	標準偏差	最大值	最小值
2000 年至 2023 年實測值				
2000-2023	1896.1	558.0	2796.5	1061.0
2024 年至 2100 年預測值				
SSP126	2222.4	662.0	4179.1	1186.0
SSP245	1967.5	643.6	3843.1	969.9
SSP370	1948.9	613.7	3747.9	947.6
SSP585	2279.4	616.2	3998.2	1024.3

和社雨量站

項目	雨季百分比(%)			最大日降雨量 (mm)
	平均值	最大值	最小值	
2001-2023 實測	81.1	91.1	63.5	504.0
未來 SSP126	80.0	95.6	56.0	702.1
未來 SSP245	79.0	93.2	52.0	515.9
未來 SSP370	81.0	95.9	57.6	561.7
未來 SSP585	82.5	97.6	48.7	713.1

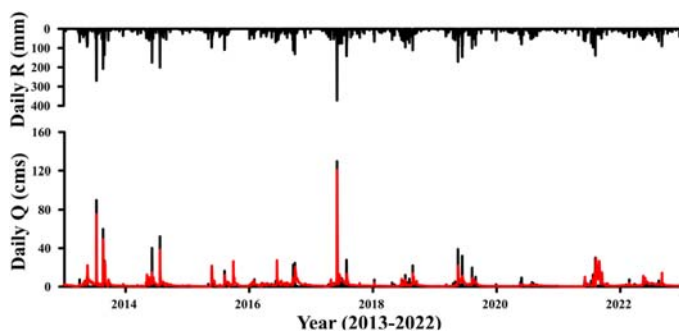
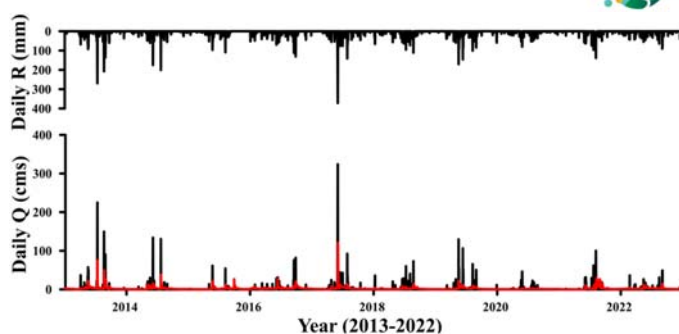
以SWAT模式建構野溪流量產出模式：郡坑溪



使用資料：採用5m數值高程資料 (DEM)、內政部國土測繪中心發佈土地利用資料、林業保育署所產出土壤分佈資料與2013年至2022年降雨量(豐丘、和社、西巒、新興橋雨量站)。

初次模擬結果：模擬流量跟日雨量分佈時間比對有吻合，但在降雨誘發高流量時段，模擬流量上升幅度小於實際流量
由過往無降雨時日流量資料得出郡坑溪退水係數約為0.982。

校正後模擬結果正確率提升至76.8%，RMSE約為6.523。



未來氣候變遷下小水力發電潛勢

本研究採用未來20年進行模擬(小水力發電設施使用壽命約估計為20年)

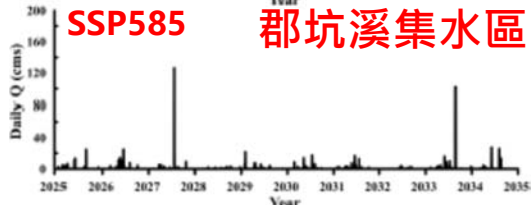
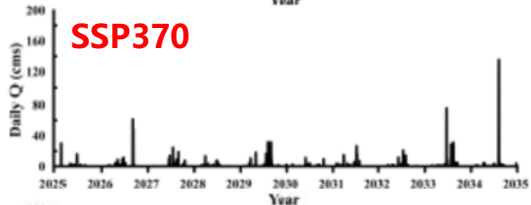
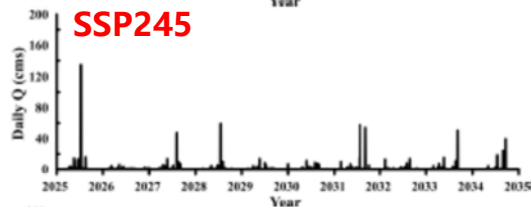
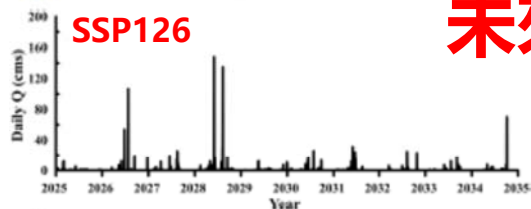
豐丘雨量站比對(120.90,23.65)・和社雨量站比對(120.90,23.60)

西巒雨量站比對(120.90,23.75)・新興橋雨量站比對(120.85,23.55)

雨量站	豐丘	和社	西巒	新興橋
SSP 1-2.5 情境於 2025 年至 2034 年				
平均年降雨量(mm)	2178.1	2128.7	2148.0	2525.6
平均雨季百分比(%)	79.2	79.1	79.4	79.9
SSP 2-4.5 情境於 2025 年至 2034 年				
平均年降雨量(mm)	1715.9	1680.8	1728.9	1957.6
平均雨季百分比(%)	80.7	80.5	81.4	81.5
SSP 3-7.0 情境於 2025 年至 2034 年				
平均年降雨量(mm)	2103.4	2051.4	2064.1	2467.6
平均雨季百分比(%)	80.4	80.3	80.7	81.4
SSP 5-8.5 情境於 2025 年至 2034 年				
平均年降雨量(mm)	1833.2	1778.2	1837.6	2073.9
平均雨季百分比(%)	74.3	74.2	74.7	75.4

雨量站	豐丘	和社	西巒	新興橋
SSP 1-2.5 情境於 2035 年至 2044 年				
平均年降雨量(mm)	1917.7	1899.7	1935.3	2247.7
平均雨季百分比(%)	76.4	76.8	76.2	77.4
SSP 2-4.5 情境於 2035 年至 2044 年				
平均年降雨量(mm)	1814.2	1754.6	1827.4	2045.3
平均雨季百分比(%)	76.5	76.3	77.0	76.9
SSP 3-7.0 情境於 2035 年至 2044 年				
平均年降雨量(mm)	2003.6	1968.2	1924.2	2334.7
平均雨季百分比(%)	78.7	77.9	77.8	79.4
SSP 5-8.5 情境於 2035 年至 2044 年				
平均年降雨量(mm)	2296.0	2284.5	2283.6	2683.2
平均雨季百分比(%)	78.4	78.3	78.9	79.4

未來氣候變遷下小水力發電潛勢



郡坑溪集水區

Q(cms)	2025-2034 年超越機率(%)				2035-2044 年超越機率(%)			
	1-2.5	2-4.5	3-7.0	5-8.5	1-2.5	2-4.5	3-7.0	5-8.5
1	47.45	41.29	39.48	39.42	40.66	43.51	46.41	54.99
2	33.45	29.92	29.73	28.58	31.32	33.62	34.55	43.84
3	27.18	21.62	23.45	22.33	25.10	27.73	28.00	35.78
4	23.42	15.51	19.07	18.49	21.37	22.47	22.85	30.71
5	20.66	12.44	15.97	15.64	18.49	18.05	18.85	27.10
10	12.63	5.34	8.49	7.64	11.56	8.47	11.18	15.51
20	4.68	1.84	3.42	2.38	5.59	2.85	6.63	5.48
40	1.45	0.77	1.32	0.44	1.42	1.29	1.92	1.45
60	0.74	0.38	0.63	0.27	0.93	0.88	1.01	0.68
80	0.36	0.14	0.36	0.16	0.55	0.55	0.63	0.36
100	0.25	0.08	0.25	0.11	0.36	0.27	0.52	0.25
150	0.11	0.00	0.11	0.00	0.08	0.14	0.25	0.03
200	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.08	0.11	0.00

對應2013年至2022年流量分佈情況，可明顯發現低流量($Q < 1\text{cms}$)情況有明顯增加，高流量($Q > 20\text{cms}$)在四種情境下都維持在2%至7%之間

未來氣候變遷下小水力發電潛勢

氣候情境設定(SSP)	1-2.5	2-4.5	3-7.0	5-8.5
平均年發電度數(萬度)	31.9	31.5	28.8	30.2
年平均流量<0.5cms 天數	160.4	188.4	189.0	192.2
年平均流量>9cms 天數	48.5	21.9	35.0	30.8

經濟效益，以下計算請採平均年發電數計算

可供給幾戶用電(戶)	89.1	88.0	80.5	84.2
民戶用電節省金(萬元)	99.5	98.2	89.8	94.0
賣給台電回饋金(萬元)	156.3	154.3	141.1	147.6

減碳效益，以下計算請採平均年發電數計算

水力發電年排碳數(萬 g)	15.7	157.6	144.1	150.8
燃煤發電年排碳數(萬 g)	3992.0	3940.9	3603.7	3770.9
燃氣發電年排碳數(萬 g)	7984.0	7881.7	7207.3	7541.7

氣候變遷導致降雨更加集中在雨季，明顯影響小水力發電日數與效益。

每年無法發電天數已經超過一半時間

不論在郡坑溪或十八重溪，2025年至2034年或2035年至2044年，或在哪一個氣候變遷情境，累計流量<0.5cms或>9cms天數都已經超過183天以上。

代表以未來郡坑溪或十八重溪流量時間分佈而言，一年將有一半時間不適合用於發電。

可發電天數降低，對應經濟效益與減碳效益都明顯降低。

未來小水力發電效益可能會過低年份

引發河川有大量時間皆為無或低流量原因

當年度年降雨量偏低

當年度雨季與旱季降雨差異偏大。

本研究設定以低於豐丘雨量站在2013年至2022年最低年降雨量1280.5mm或低於和社雨量站在2013年至2022年最低年降雨量1109.0 mm為門檻，並從四種氣候變遷情境篩選出對應年份，並估算該年份旱季累積雨量佔比，若未來特定年份預測年降雨量偏低，且旱季累積雨量佔比也偏低，則可能是發展小水力發電需特別關注年份

情境	年份	年降雨量	旱季	年降雨量	旱季
		豐丘雨量站		和社雨量站	
1-2.5	2042	1221.3	28.0	1186.7	28.8
1-2.5	2084	1276.3	17.8	1251.7	17.8
2-4.5	2026	1171.5	33.4	1159.8	35.0
2-4.5	2037	1276.3	37.4	1210.3	37.7
2-4.5	2041	1223.7	11.7	1204.3	11.5
2-4.5	2046	992.0	31.1	969.9	32.5
3-7.0	2028	1228.9	38.3	1188.4	39.2
3-7.0	2054	1004.5	28.9	987.5	30.0
3-7.0	2057	992.0	35.1	947.6	35.9
3-7.0	2059	1149.9	39.0	1102.1	39.4
3-7.0	2075	1160.2	8.6	1118.6	9.3
3-7.0	2100	1001.9	10.9	1002.1	11.5
5-8.5	2028	1045.7	25.0	1160.6	24.0
5-8.5	2032	1045.7	12.2	1024.3	12.4

備註：年降雨量單位為 mm，旱季代表旱季雨量佔年降雨量百分比，

單位%。上灰色底代表該年份為低年降雨量且旱季佔比偏低。



台灣山坡地農村適合發展小水力發電之條件篩選與未來發展方式評估

行政先行，降低民眾參與障礙

小水力發電發展報告(WSHDR)2022年版給予各國河川管理單位發展小水力發電的建議：

- 進行詳細小水力發電資源評估(先對全台灣野溪進行評估，找出合適開發點位)
- 制定適當政策和法規(鬆綁法規)
- 促進獲得可持續融資來源(協助引入低利貸款)
- 提升或引入小水力發電行業所需取得設備與技術
- 提供可靠基礎設施(以既有壩體為主)
- 提高當地小水力發電技能和專業知識
- 加強國際和地區間合作

以日本案例而言，的確是由中央單位先對全國坡地農村水環境進行評估，再由中央主動通知符合開發條件的村落，協助當地成立募資團體或管理委員會，協助洽談低利貸款給當地團體。也對可能涉及的法規先行討論。

以水環境而言，本研究先討論野溪為主。

各國篩選小水力發電點位考量因子

西班牙錫爾河案例

考量生態族群面向、水流水質面向、鄰近區域植生分佈面向、地貌景觀面向、工程影響面向與公眾意見面向等。

歐洲評估案例

選取需具備高程坡度達0.5%以上、至少6個月之河川流量可達2cms與河段落差達至少6公尺以上。

日本評估案例

設定一固定超越機率為95% (Q95)門檻流量值，代表該位置一年至少會有347天河川流量可達此門檻值，也方能保證興建小水力發電能帶來發電或經濟效益。

非洲迦納案例

河段需至少為河川級序3以上河段才適合興建小水力發電，其考量也在於需具備足夠大集水區面積方能有足夠匯流水量，也才能保證興建小水力發電廠址不會面臨過多時間水量偏少情況。

本研究建議篩選小水力發電點位考量因子

設定流量門檻或河川級序等級是大區域篩選首要條件，當大區域篩選完畢出合適區域後，再以河川落差與河川坡降進行更細緻篩選。

郡坑溪與十八重溪集水區案例顯示：河川級序皆為2，集水面積不夠大，因此流量可達1cms以上之超越機率為52.88%與67.32%。

考慮未來氣候變遷，旱季雨季降雨時間分佈差異更明顯，也代表郡坑溪與十八重溪可達1cms以上之超越機率將更降低。此結果也代表在山區農村篩選小水力發電廠址可能點位需往更下游點位或根據流量延時曲線分析結果，流量可達1cms以上之超越機率需更高。

一、廣域評估：根據過往長期流量資料(至少10年)，評估點位Q80流量 $\geq 1\text{cms}$ 或評估點位需位於河川級序至少3以上河段。

二、細部評估：評估點位河川坡降 $\geq 0.5\%$ 或落差 $\geq 5\text{m}$ (一個防砂壩體高度)。

發展小水力發電需解決問題：法規層面

定義優先發展小水力發電區域：先由東北或北台灣為優先發展區域，逐步彙整可能發生問題與解決方案後，再推展到台灣其他區域。

定義適合發展小水力發電野溪：扣除具有災害潛勢之野溪，採河川級序至少3以上方為合適發展小水力發電對象。

水源使用適法性：建議山坡地主管單位需先討論野溪水源營利使用適法性問題，適度放寬野溪水源取用限制。

取用多少水源限制：本研究建議能取用多少水源上限也應由主管單位先行討論，或提出因地制宜上限原則。**應以保留生態溪流量為主。**

發展小水力發電需解決問題：法規層面

既有野溪橫向工程構造物改建問題：在既有砂壩體、固床工、堰體工程進行改建對於防災效益或安全性的影響需先評估，建議由主管單位針對現有野溪橫向工程構造物進行盤點並討論共通原則。

新建工程構造物合法性：若在合適發展小水力發電河段卻無既有工程，則改由山坡地農村籌資團體主動提出新建工程適法性問題也需討論。

防災期間小水力發電設施操作管理問題。興建在野溪內或河岸區域小水力發電設施該如何因應颱風豪雨所帶來洪水現象？或將如何搭配已操作多年土砂災害警戒而成為小水力發電因應防災期間管理方式？

水土保持技術規範可考量加入水力發電相關章節。

山坡地農村設置小水力發電位置與類型



以防砂壩體來水量進行小水力發電設置：可考量採用日本貨櫃屋及興建排水渠道方式進行。

在河川級序至少3以上野溪河段以離槽方式取水發電

發展小水力發電需解決問題：行政協助

綜合小水力發電發展報告2022年版報告與台灣現況，為鼓勵再生能源開發與使用，本研究提出幾點可由主管單位提供給民眾行政協助：

- 提供單一申請窗口，並簡化許可流程。
- 可結合金融單位，放寬小水力發電籌資團體對於資金融資來源與額度，提供低利率融資門檻。
- 定期舉辦小水力發電巡講，提供山坡地農村社區居民對小水力發電有更多認識，可提升山坡地農村居民對於參與籌資興建小水力發電意願。
- 舉辦小水力發電設施管理維護訓練班，培養未來小水力發電所需維護管理人員。

要讓小水力發電在山坡地農村達到遍地開花發展，**山坡地主管單位對於法規與對應協助須先解套**，才可能讓農村社區居民願意投入，並為台灣創造更多低碳能源來源，也可達到台灣分散電力來源目的。

The background of the slide is a photograph of a field of tall, green grass blowing in the wind under a clear blue sky. A semi-transparent yellow horizontal band is positioned across the middle of the image, containing the text.

感謝聆聽 敬請提問