
**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**
**Combining Climate Change and
Remote Sensing Images for Evaluation of
Small Hydropower Susceptibility in Rural
Villages**

成果報告

執行單位：逢甲大學水利工程與資源保育學系

執行期間：113 年 02 月 07 日至 113 年 12 月 31 日

計畫主持人：吳俊鎡 副教授

農業部農村發展及水土保持署 編印

中華民國 113 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本署施政參考）

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

摘要

本研究探討山坡地農村進行小水力發電可行性，研究區域為南投縣信義鄉明德村與豐丘村，分析集水區為郡坑溪集水區與十八重溪集水區。於期中報告階段，本研究於第二章完成近年國際小水力發電發展趨勢分析與如何結合農村發展與小水力發電之國際案例分析，也於第三章完成兩個集水區過往 10 年歷年 NDVI 值分析、土地利用變化變遷與流量雨量時間分佈等分析，並初步依據過往 10 年資料分析兩個村落小水力發電發電效益、經濟效益與減碳效益等評估。於第四章完成南投縣信義鄉明德村與豐丘村在四種氣候變遷情境下未來降雨特性分析。

以近年國際小水力發電發展趨勢分析而言，台灣位處東亞與東南亞區域仍有相當大開發潛力待開發，相關國際文獻也提出應該先針對可能進行小水力發電區域進行盤點，本研究也提出國際文獻建議盤點程序。以如何結合農村發展與小水力發電之國際案例分析而言，本研究提出三個日本山坡地農村興建小水力發電案例，三個案例流量都不超過 1cms，但興建小水力發電後，其經濟效益都提供該農村發展經濟動力，值得台灣山坡地農村未來發展小水力發電參考。

以過往 10 年歷年 NDVI 值分析而言，郡坑溪集水區與十八重溪集水區近 10 年有逐漸下降趨勢，從 2015 年至 2016 年平均值超過 0.6，到 2022 年至 2024 年則下降到 0.35 以下。以過往 10 年土地利用變化而言，近 10 年土地利用變化不明顯，喬木、灌木與草地都佔兩個集水區 90%以上，人為開發佔兩個集水區未達 3%。以兩個村落興建小水力發電評估而言，在本研究設定四種流量估算上，兩個村落各三個備選點位都可提供超過 40 戶以上家庭用電，每年提居民省下 50 萬以上電費，或可提供 70 萬以上收入，水力發電碳排量也比燃燒煤炭或天然氣碳排量明顯降低。

以南投縣信義鄉明德村與豐丘村過往與未來降雨特性比較而言，未來降雨特性趨向年降雨量逐漸增加，且年降雨量起伏加大；雨季累積降雨量佔年降雨量約在 79.2%至 82.6%之間，未來降雨會越趨明顯濕旱兩極化現象；未來最大大日降雨量明顯提升至過往 1.18 至 1.38 倍。

本研究以 SWAT 模式建構郡坑溪與十八重溪之流量產出模式，並以 2013 年至 2022 年流量資料進行訓練，修正後模式準確率約為 76.8%至 78.4%。本研究以郡坑溪與十八重溪流量產出模式，套用 2025 年至 2044 年日降雨量資料，得出郡坑溪與十八重溪在未來四種氣候變遷情境下預測日流量，並以此預測日流量估算小水力發電經濟效益

與減碳效益。經本研究評估結果顯示：郡坑溪與十八重溪集水區在 2025 年至 2044 年之小水力發電經濟效益與減碳效益，相較於 2013 年至 2022 年估算值，都有明顯下降現象，主因在於每年無法發電日數超過一半以上，包含日流量低於 0.5cms 與高於 9cms。

本研究也根據本年度研究成果，提出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。本研究建議要讓小水力發電能夠快速發展，相關法規解套是首要關鍵，對山坡地農村社區引入專業演講跟協助給予低利融資都是國際相關文獻所建議過程。

關鍵字：小水力發電、氣候變遷、衛星影像、農村發展

Combining Climate Change and Remote Sensing Images for Evaluation of Small Hydropower Susceptibility in Rural Villages

Abstract

This study explores the feasibility of small hydropower in rural villages in mountainous areas. The study areas are the Mingder and Fengchiu villages in Sinyi Township in Nantou County. The Junken river and Shibachong river watersheds are the main watersheds in this study. The study has finished the analysis of international small hydropower development trends in recent years and international case analysis of how to combine rural development with small hydropower in Chapter 2. The study also finished the analysis of annual NDVI values, land use changes, and time distribution of flow and rainfall in the two watersheds in the past 10 years, and analyzed preliminarily the power generation benefits, economic benefits and carbon reduction benefits of small hydropower in two villages based on data from the past 10 years in Chapter 3. The study also finished the analyses of the rainfall characteristics under four climate change scenarios in the future in Mingder and Fengchiu villages in Sinyi Township in Nantou County in Chapter 4.

The East and Southeast Asia regions where Taiwan is located still have considerable potential for small hydropower development to be developed based on the analysis of international small hydropower development trends. The preliminarily assessment of small hydropower should be carried out first from the analysis of related references, and the

study also proposed the steps of how to do the preliminarily assessment of small hydropower. Based on the analysis of how to combine rural development with small hydropower, the study proposed 3 rural villages in mountainous areas in Japan where the small hydropower was combined with the rural development. In the three rural villages, the discharge used to hydropower generation was less than 1 cms. But the economic benefits from small hydropower have become the economic driving force for the development of this rural village. The three rural villages are worthy of reference for the future development of small hydropower generation in hilly rural areas of Taiwan.

The annual NDVI values in the Junken river and Shibachong river watersheds gradually decreased based on the analysis of annual NDVI in the past 10 years. The annual NDVI values in the two watersheds from 2015 to 2016 were larger than 0.6, and those from 2022 to 2024 were dropped below 0.35. The change of land use has not been obvious based on the change of land use in the past 10 years. The area of trees, shrubs and grassland occupied more than 90% of the two watershed areas, while the area of human development occupied less than 3%. Each of the three alternative locations in the two villages can provide more than 40 households with electricity by using the four river discharge settings based on the analysis of small hydropower in the two rural villages. The small hydropower can save the residents more than 500,000 NT in electricity bills every year and may provide an income of more than 700,000 NT. Hydropower also has significantly lower carbon emissions than burning coal or natural gas.

The rainfall characteristic in the Mingder and Fengchiu villages in

the future tend to gradually increase the annual rainfall, and the annual rainfall fluctuations will increase based on the comparison of the rainfall characteristics in the past and future. The accumulated rainfall in the rainy seasons occupied 79.2% to 82.6% of the annual rainfall. The maximum daily rainfall in the future is estimated as 1.18 to 1.38 times larger than that in the past.

This study uses the SWAT model to build the discharge prediction model of Junkeng River and Shibachong River, and trains the prediction model by using the daily discharge data from 2013 to 2022. The accuracy of revised discharge prediction models for Junkeng River and Shibachong River are 76.8% and 78.4%. The study combines the revised discharge prediction model and the projected daily rainfall from 2025 to 2044 to predict the daily discharge of Junkeng River and Shibachong River under four future climate change scenarios. The predicted the daily discharge of Junkeng River and Shibachong River are used to estimate the economic and carbon reduction benefits of small hydropower generation. Compared to economic and carbon reduction benefits from 2013 to 2022, the predicted economic and carbon reduction benefits from 2025 to 2044 declined significantly. The main reason for the significant declined benefits is that more than half year are unable to generate electricity.

Based on this year's research results, the study also proposes conditions and future development methods suitable for the development of small hydropower in the rural village in the slopeland in Taiwan. This study suggests that in order for small hydropower to develop rapidly, the unwinding of relevant regulations is the primary key. The introduction of professional lectures and assistance in providing low-interest financing to

rural village in the slopeland are processes recommended by relevant international literature.

**Keywords: Small hydropower, Climate Change, Satellite Images,
Rural Development**

目錄

摘要.....	I
Abstract.....	IV
目錄.....	VIII
表目錄.....	X
圖目錄.....	XII
第一章 緒論	1-1
第一節 計畫目	1-1
第二節 工作範圍	1-3
第三節 工作成果要求	1-4
第四節 工作進度及期限	1-5
第二章 文獻分析說明	2-1
第一節 小水力發電在國際發展趨勢分析說明	2-1
第二節 水力發電結合農村發展評估	2-22
第三章 農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估	3-1
第一節 野溪集水區近年地貌變化評估	3-1
第二節 野溪集水區近年雨量流量分析	3-14
第三節 野溪小水力發電量評估	3-24
第四章 未來氣候變遷下山坡地農村發展小水力發電可行性評估	4-1
第一節 氣候變遷下南投縣信義鄉明德村與豐丘村雨量分析	4-1
第二節 建構南投縣明德村與豐丘村野溪流量產出評估方式	4-9
第三節 未來氣候變遷下小水力發電量評估	4-16
第五章 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	5-1
第一節 台灣山坡地農村適合發展小水力發電條件篩選	5-1

第二節	台灣山坡地農村適合發展小水力發電發展方式評估 ..5-7
第六章	結論6-1
參考文獻.....	參-1
附錄一、	期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形附錄-1
附錄二、	期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形附錄-5
附錄三、	期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形附錄-11

表目錄

表 1-1-1	各種發電技術之碳排放係數(IPCC，2018).....	1-2
表 1-4-1	預定執行進度表.....	1-5
表 2-1-1	水力發電、太陽能發電與風力發電優缺點比較	2-13
表 2-1-2	興建小水力發電機組對水中生物影響彙整表	2-21
表 2-2-1	松熊村小水力發電興建資料.....	2-28
表 3-1-1	NDVI 各量值等級與植生茂密度說明	3-4
表 3-1-2	郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈數據	3-5
表 3-1-3	郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分類	3-10
表 3-2-1	豐丘雨量站 2013 年至 2022 年降雨資料表	3-15
表 3-2-2	和社雨量站 2013 年至 2022 年降雨資料表	3-16
表 3-3-1	郡坑溪集水區流量超越機率統計表	3-32
表 3-3-2	郡坑溪集水區信義橋發電效益評估表	3-33
表 3-3-3	郡坑溪集水區忠信集貨場發電效益評估表	3-34
表 3-3-4	郡坑溪集水區十甲聚落發電效益評估表	3-35
表 3-3-5	十八重溪集水區流量超越機率統計表	3-40
表 3-3-6	十八重溪集水區十八重溪橋發電效益評估表	3-41
表 3-3-7	十八重溪集水區道路旁發電效益評估表	3-42
表 3-3-8	十八重溪集水區上游農田聚落發電效益評估表	3-43
表 4-1-1	豐丘雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料	4-5
表 4-1-2	豐丘雨量站 2000 年至 2100 年雨季雨量與最大日降雨量	4-5
表 4-1-3	和社雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料	4-8
表 4-1-4	和社雨量站 2000 年至 2100 年雨季雨量與最大日降雨量	4-8
表 4-3-1	四個雨量站於 2025 年至 2034 年在四種情境降雨數據	4-18
表 4-3-2	四個雨量站於 2025 年至 2034 年在四種情境降雨數據	4-19

表 4-3-3	郡坑溪於 2025 年至 2044 年預測流量超越機率表	4-24
表 4-3-4	十八重溪於 2025 年至 2044 年預測流量超越機率表	4-25
表 4-3-5	信義橋 2025 年至 2034 年發電效益評估表	4-27
表 4-3-6	信義橋 2035 年至 2044 年發電效益評估表	4-28
表 4-3-7	十八重溪橋 2025 年至 2034 年效益評估表	4-29
表 4-3-8	十八重溪橋 2035 年至 2044 年效益評估表	4-30
表 4-3-9	豐丘與和社雨量站在未來氣候變遷低年降雨量年度	4-33

圖目錄

圖 1-1-1	各種發電形式碳排放量比較(取自呂錫民，2011).....	1-2
圖 2-1-1	各國累計一般水力發電與小水力發電歷年發展總數	2-4
圖 2-1-2	世界各國小水力發電總數.....	2-5
圖 2-1-3	歷年小水力發電全球發電容量與潛在發電容量	2-6
圖 2-1-4	各洲於 2019 年與 2022 年小水力發電裝機增減速度	2-6
圖 2-1-5	各洲已開發與預估可開發小水力發電差距分佈圖	2-8
圖 2-1-6	小水力發電在世界各國案例(Couto et al., 2018).....	2-14
圖 2-1-7	台灣目前已商轉或商轉中小水力發電廠資料	2-16
圖 2-2-1	已開始營運小水力發電在日本分布(2017 年資料).....	2-24
圖 2-2-2	日本佐賀縣松熊村小水力發電站照片	2-27
圖 2-2-3	大竹村小水力發電站.....	2-33
圖 2-2-4	岐阜縣郡上市石徹白地區以河道興建小水力發電示意 ..	2-36
圖 2-2-5	岐阜縣郡上市石徹白地區小水力發電機組圖	2-36
圖 2-2-6	依據河川流量資料建立流量延時曲線(JICA，2011).....	2-38
圖 2-2-7	經由河川縱剖面高程分佈找尋可能小水力發電場域	2-39
圖 2-2-8	一般常見小水力發電設施(JICA，2011).....	2-42
圖 3-1-1	本研究涉及區域與相對位置.....	3-2
圖 3-1-2	郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈情況	3-6
圖 3-1-3	郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈情況	3-7
圖 3-1-4	郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈情況	3-8
圖 3-1-5	郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分佈	3-11
圖 3-1-6	郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分佈	3-12
圖 3-1-7	郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分佈	3-13
圖 3-2-1	玉峰橋、寶石溪、內茅埔 2013 至 2022 年日流量分佈 ..	3-19

圖 3-2-2	玉峰橋 2018 年流量記錄.....	3-21
圖 3-2-3	寶石橋 2018 年流量記錄.....	3-22
圖 3-2-4	十八重溪與郡坑溪集水區 2013 至 2022 年日流量分佈 ..	3-23
圖 3-3-1	山坡地野溪設置水力發電型態說明(Couto et al., 2018) ..	3-25
圖 3-3-2	郡坑溪集水區下游河段人口分佈情況	3-30
圖 3-3-3	郡坑溪下游野溪高程縱剖面分佈圖	3-31
圖 3-3-4	郡坑溪集水區流量延時曲線.....	3-32
圖 3-3-5	郡坑溪集水區信義橋空拍照片	3-36
圖 3-3-6	郡坑溪集水區忠信集貨場空拍照片	3-37
圖 3-3-7	郡坑溪集水區十甲聚落空拍照片	3-37
圖 3-3-8	十八重溪集水區下游野溪河段分佈圖	3-38
圖 3-3-9	十八重溪下游野溪高程縱剖面分佈圖	3-39
圖 3-3-10	十八重溪集水區流量延時曲線.....	3-40
圖 3-3-11	十八重溪集水區十八重溪橋空拍照片	3-44
圖 3-3-12	十八重溪集水區道路旁空拍照片	3-45
圖 3-3-13	十八重溪集水區上游農田聚落空拍照片	3-45
圖 4-1-2	和社雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料	4-7
圖 4-2-1	郡坑溪於 2013 至 2022 年實測流量與模擬流量比對圖 ..	4-12
圖 4-2-2	郡坑溪 2013 至 2022 年實測流量與模擬流量調整後比對	4-12
圖 4-2-3	十八重溪 2013 至 2022 年實測流量與模擬流量比對圖 ..	4-15
圖 4-2-4	十八重溪 2013 至 2022 年實測流量與調整後模擬流量-	4-15
圖 4-3-1	郡坑溪 2025 年至 2034 年預測日流量分佈	4-20
圖 4-3-2	郡坑溪 2035 年至 2044 年預測日流量分佈	4-21
圖 4-3-3	十八重溪 2025 年至 2034 年預測日流量分佈	4-22
圖 4-3-4	十八重溪 2035 年至 2044 年預測日流量分佈	4-23

圖 5-1-1	台灣農田灌排圳路分佈圖.....	5-3
圖 5-1-2	國際文獻評估小水力發電廠址流程圖	5-5
圖 5-2-1	興建離槽小水力發電示意圖.....	5-12

第一章 緒論

第一節 計畫目

為因應 2050 年淨零碳排目標，台灣積極找尋再生綠色能源電力來源，近年風力發電與太陽能發電都在台灣大量發展。但在各種發電形式碳排量比較中(如圖 1-1-1 與表 1-1-1 所示)，都可發現水力發電碳排係數屬於較低一群，對比目前台灣主要發電來源燃煤排碳量與燃氣排碳量低上一截，為解決台灣低碳排電量仍不足問題，發展水力發電成為另一項綠色能源可行途徑。

以 2022 年臺灣電力公司提出發電量數據而言，台灣全年度總發電量中，火力發電量占比達 81.0%，包括燃煤 34.8%、燃油 1.4%、燃天然氣 43.4%、汽電共生 1.4%(不含垃圾及沼氣)等，再生能源占比為 8.6%(含水力及汽電共生中之垃圾及沼氣)，抽蓄水力 1.2%，核能為 9.1%。若從再生能源比例抽出小水力發電比例，則台灣目前以小水力發電發電量恐怕佔比不及 1%。

台灣多數水力發電來源是水庫發電，但利用水庫發電在台灣面臨兩個困境：一則台灣適合興建水庫廠址已經接近飽和；二則利用水庫進行水力發電，因興建過程需大量混凝土，水庫發電是否被認可為低碳發電?在國際或台灣都仍有疑慮。

因此具有低碳排量小水力發電目前在台灣發展數量及規模偏小，但仍有不小發展空間。在外國專家學者眼中，台灣卻是具備小水力發電絕佳發展條件；以台灣跟日本在發展小水力發電條件相比，台灣超過 3000 公尺以上高山超過 300 座，豐沛年降雨量也位於全世界前 20 名內，以水利署公告台灣平均年降雨量約為 2500mm 數據，比

對全世界各國年降雨量排行，平均年降雨量 2500mm 可列在全世界第 14 位。這些條件都是台灣發展小水力發電重要基礎。

各種發電技術的排碳量	
	排碳量 (g CO ₂ / kWh)
燃煤電廠 (IGCC)	800
燃煤 + CCS	125
燃油電廠	650
燃氣電廠	400
燃氣 + CCS	250
生質能 (芒草)	80
生質能 (木屑)	25
太陽能	58
風力 (離岸)	5.3
風力 (陸域)	4.6
海洋能	50
水力	5
核能	5

圖 1-1-1 各種發電形式碳排放量比較(取自呂錫民，2011)

表 1-1-1 各種發電技術之碳排放係數(IPCC，2018)

發電方式	排放係數	發電方式	排放係數
煤	820	地熱	38
煤+碳捕捉技術	200	太陽能	27
天然氣	490	水力發電	24
天然氣+碳捕捉技術	170	潮汐能	17
生質共燒	740	核能	12
生質燃料	230	風力離岸	12
太陽能公共事業	48	風力岸邊	11
屋頂太陽能	41		

備註：排放係數單位為 gCO₂eq/kWh

日本小水力發電株式會社以在日本多年發展小水力發電經驗，認為台灣高山地形與降雨豐沛，在未來發展小水力發電具有相當潛力，日本小水力發電株式會社社長半田宏文認為：「台灣擁有豐富天然資源，有高山、降雨量豐富，發展小水力發電一定有機會。」。台灣小水力發電廠商水律能源也認為「台灣水力發電已開發約 2GW(百萬瓩)，未來還有 10GW(百萬瓩)潛能」。(陳映璇，2022)

小水力發電仰賴水頭落差、匯集水量或水流流速等條件，這對於台灣 72%面積山坡地區而言，是一項天生具備條件。台灣山坡地區如何評估小水力發電潛力，又如何將產出綠電經由適當管道賣出後，所得回饋能夠貢獻在山坡地農村發展，這是一個值得深入討論議題，尤其在台灣大量欠缺綠色能源背景下，如何研擬未來山坡地農村利用野溪進行發電相關規範，並促成後續山坡地農村提供綠色能源且讓農村邁向永續發展，這是本研究本年度研究上重點。

以現階段而言，要在台灣山坡地農村啟動小水力發電關鍵有三：相關技術規範建立、以長年資料及遙測影像評估小水力發電潛勢與考量未來氣候變遷可能帶來影響。本研究所挑選研究區域為南投縣信義鄉明德村與豐丘村，這兩個山坡地農村區域內有多條不同特性水環境，包含山坡地農村區域內郡坑溪與十八重溪及其他多條坑溝野溪，可作為本研究對於野溪評估小水力發電案例，更可套用未來氣候變遷資料在野溪上，而評估是否適用建構小水力發電站可行性。

第二節 工作範圍

本計畫工作範圍為以氣候變遷未來降雨資料與遙測影像資料，對南投縣信義鄉山坡地村落評估小水力發電可行性。

第三節 工作成果要求

本計畫之委託專業服務採購說明所列工作項目如下：

一、蒐集小水力發電在國際發展趨勢計十篇及水力發電結合農村發展評估相關文獻計五篇，累計十五篇文獻蒐集分析。

(一)蒐集小水力發電在國際發展趨勢計十篇文獻分析。

(二)水力發電結合農村發展評估內容計五篇文獻分析。

二、農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估。

(一)野溪集水區近年地貌變化評估。

(二)野溪集水區近年雨量流量分析。

(三)小水力發電量評估。

三、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

(一)未來氣候變遷下南投縣信義鄉明德村與豐丘村集水區雨量分析。

(二)建構南投縣信義鄉明德村與豐丘田野溪河段流量產出評估方式。

(三)小水力發電量評估。

四、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。

(一)台灣山坡地農村適合發展小水力發電之條件篩選。

(二)台灣山坡地農村適合發展小水力發電之未來發展方式評估

第四節 工作進度及期限

本計畫自 113 年 2 月 7 日起至民國 113 年 12 月 31 日完成，預定執行進度如表 1-4-1 所示。

表 1-4-1 預定執行進度表

重要工作項目	工作比重(%)	預定進度累計百分比(%)			
		1-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月
一、蒐集小水力發電在國際發展趨勢計十篇及水力發電結合農村發展評估相關文獻計五篇，累計十五篇文獻蒐集分析。	25%	35%	100%	100%	100%
二、農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估	25%	20%	70%	100%	100%
三、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	25%	0%	20%	80%	100%
四、台灣山坡地農村適合發展小水力發電條件篩選與未來發展方式評估	25%	0%	0%	30%	100%
累計總進度	100%	14%	48%	78%	100%

第二章 文獻分析說明

本章說明工作項目一：「蒐集小水力發電在國際發展趨勢計十篇及水力發電結合農村發展評估相關文獻計五篇，累計十五篇文獻蒐集分析。」之預定進行方式跟預期內容，2.1 節主要說明工作項目一(一)：「蒐集小水力發電在國際發展趨勢計十篇文獻分析。」，2.2 節主要說明工作項目一(二)：「水力發電結合農村發展評估內容計五篇文獻分析。」

第一節 小水力發電在國際發展趨勢分析說明

本段研究分析目在於瞭解國際應用小水力發電發展趨勢，分析彙整結果可提供台灣山坡地農村發展小水力發電先期知識。本研究在小水力發電國際發展趨勢會從兩個方向分析，一則搜尋近年國際相關文獻對於小水力發電趨勢討論，二則以聯合國工業發展組織(United Nations Industrial Development Organization，簡稱 UNIDO)底下小水力國際中心(International Center on Small Hydro Power，簡寫為 ICSHP)所發表關於小水力發電報告，本研究以近 10 年(2013 年至 2022 年)所發行刊物為研究分析對象，分析內容為瞭解水力發電近年在國際發展趨勢及在東亞(或亞洲)發展趨勢。

聯合國工業發展組織(UNIDO)可算是小水力發電在國際上最重

要組織，該組織從 2013 年起，每 3 年發表一份全世界小水力發電發展報告 (World Small Hydropower Development Report，簡寫 WSHDR)，至今已發表有 2013、2016、2019 與 2022 年版本。

本研究以全世界小水力發電發展報告 2022 年版(WSHDR 2022)與全世界小水力發電發展報告 2019 年版(WSHDR 2019)為主要分析文獻，分析內容即以世界發展趨勢與台灣發展小水力發電現況及未來可能遇到問題說明等兩大方向彙整文獻分析論點。

一、小水力發電近年世界發展趨勢說明

以石油或天然氣作為動力來源方式，因為大量排碳，也引發後續環境污染、溫室氣體排放、氣候變遷和酸雨並對人類造成難以彌補傷害。人類對於環境保育與停止以石油或天然氣為燃料想法，讓再生能源議題開始受到國際重視(Asghar et al., 2020)。使用再生能源或水力來進行發電是國際公認環保能源方式(Infield and Freris, 2020)。近年由於越來越多環境考慮和降低化石燃料消耗努力，國際對於開發小型水力發電廠需求已變得顯而易見，國際社會對於開發小水力發電成為環保能源態度也是積極(Stadelmann-Steffen et al., 2020)。小型水電站是全球主要發電潛力，幾乎沒有環境問題(Khodaei et al., 2018; Liu et al., 2017; Manafi et al., 2013)。小水力發電也是世界上最大再生能源之

一，目前生產電力約佔世界電力 16% (Azrulhisham and Azri, 2020)。水力發電過往偏重於以興建水庫大壩為主大型水力發電，但近年國際較多案例則逐漸偏向在河道上小水力發電，小水力發電廠等再生能源可在為農村地區提供電力方面發揮非常重要作用(Tian et al., 2020)。

根據 REN21(2015)統計：水力發電貢獻全球近四分之三可再生能源供應和近五分之一電力生產。水力發電(hydropower)在台灣多數被運用在水庫壩體上，經由壩體落差使水流流經發電機組產生電力，目前石門水庫、烏山頭水庫、霧社水庫都具備水力發電功能。

下述為全世界與台灣水力發電相關數據，不難看出近年來小水力發電在全球發展正逐漸明顯增大，台灣小水力發電則正在萌芽起步階段。

(一)根據 Couto and Olden(2018)報告指出：「全球共有 82891 座小水電站正在營運或興建中，而小水力發電數量會持續增加」。

圖 2-1-1 為世界各國發展傳統水力發電與小水力發電總數比較圖。從歷年國際發展總數來看，一般水力發電從 1970 年到 2016 年都呈現陸續成長趨勢，但成長幅度較緩。反觀小水力發電 (Small hydropower)則從 1970 年到約 2000 年左右也呈現穩定成長趨勢，但在 2000 年後至 2016 年間則快速成長。

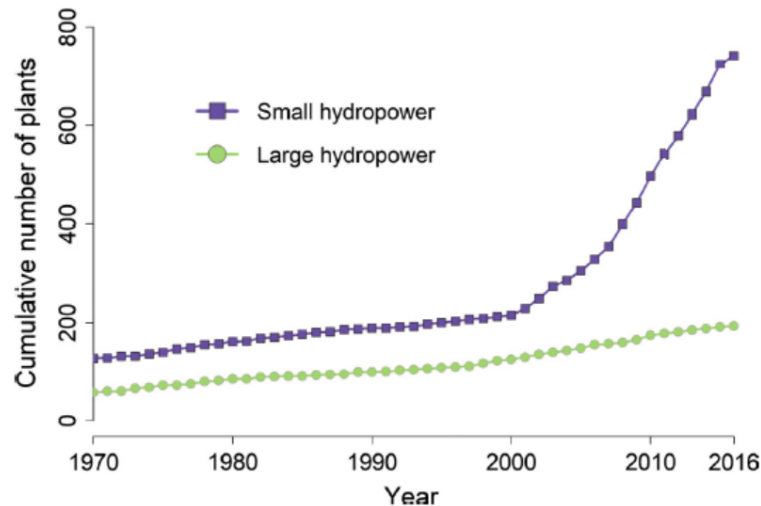


圖 2-1-1 各國累計一般水力發電與小水力發電歷年發展總數

(Couto et al., 2018)

(二)Couto and Olden(2018)以目前世界各國小水力發電現況總數乘上 3 倍為未來可能發展潛在總數，則世界各國小水力發電總數預測如圖 2-1-2 所示。世界各國小水力發電總數發展跟該國地理環境條件及相關法規給予激勵措施有關。中國小水力發電總數是目前最高，目前有 47,073 台小水電操作；歐洲小水力發電總數是 26,877 座，歐洲小水力發電興建是因為聯合國正在推廣使用乾淨能源而推動。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。

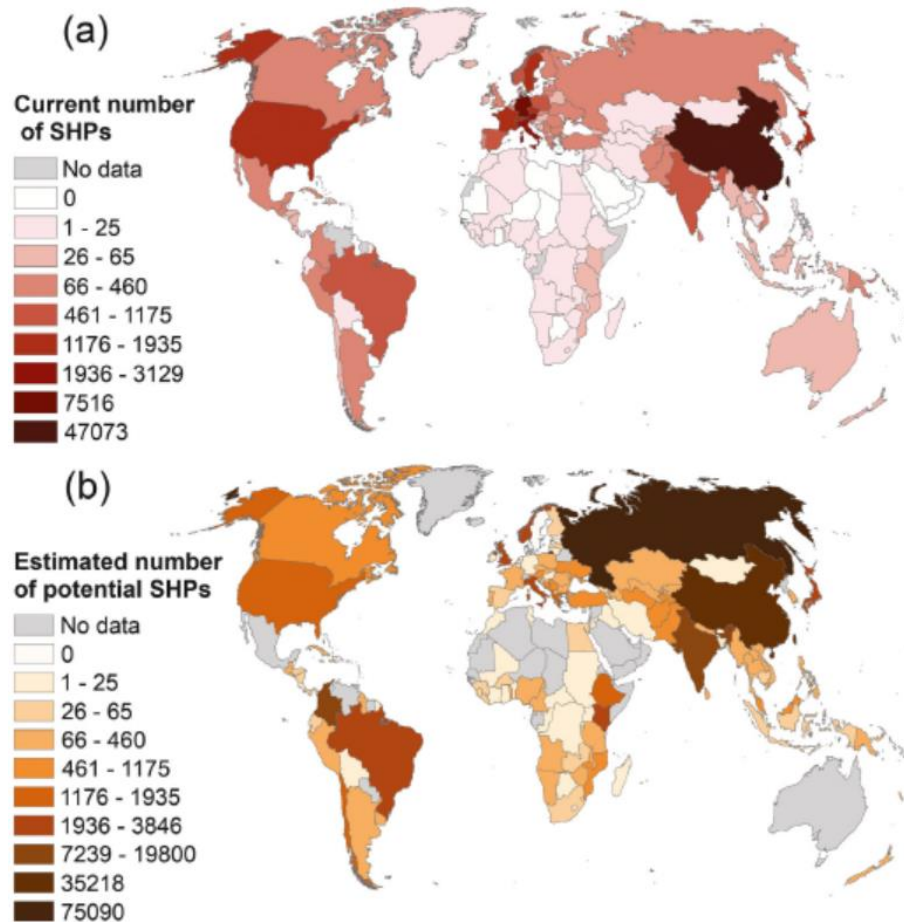


圖 2-1-2 世界各國小水力發電總數

圖 a 為目前現況，圖 b 為預測未來

(三)根據陳映璇(2022)報導：能源局統計截至 2022 年 8 月，台灣屬於再生能源發電來源比例分別為太陽光電 43.5%、風力 10.7%、水力 28.5%(包含已經存在水庫水力發電)、廢棄物 16.5%、生質能 0.6%、地熱 0.1%。

(四)已被臺灣電力公司採用能源選項，水力占 1.3%，燃氣 42.5%、燃煤 35.5%，核能 10.8%。

全世界小水力發電發展報告(WSHDR)對於小水力發電定義為「發電量在 10MW 以下」發電機組，則由 2013 年每 3 年調查報告數據，如圖 2-1-3 所示，全世界小水力發電總容量逐漸攀升，以 2019 年(Liu et al., 2019)與 2022 年版數據而言(UNIDO, ICSHP, 2022)，全球小水力發電總容量為 79.0 GW，但潛在發電量則有 221.7 GW，代表全球小水力發電仍有約 64%尚未開發。

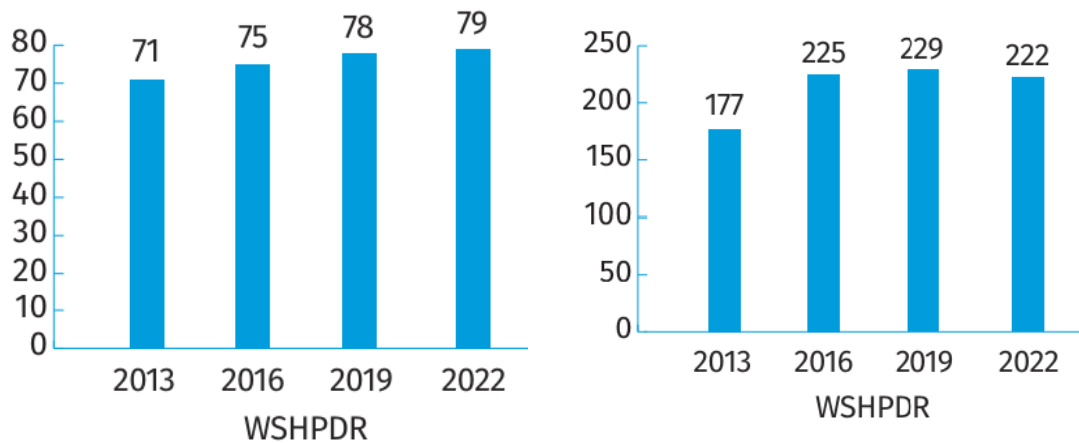


圖 2-1-3 歷年小水力發電全球發電容量(左圖)與潛在發電容量
(右圖)

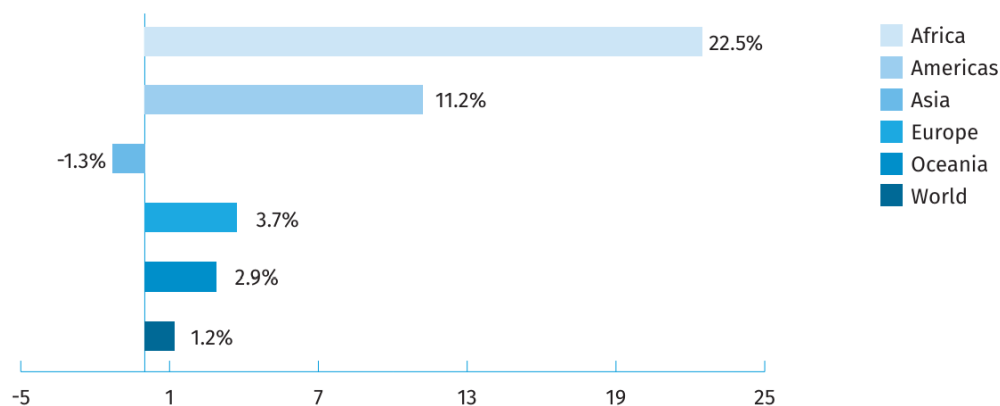


圖 2-1-4 各洲於 2019 年與 2022 年小水力發電裝機增減速度

若以各洲小水力發電裝機成長速度而言，如圖 2-1-4 所示，比較 2019 年與 2022 年統計數據，非洲、美洲、歐洲和大洋洲成長速度分別增加 23%、11%、4%與 3%，但亞洲裝機容量反而降低 1%(報告中提及這可能跟一些國家資料尚未更新有關)。若以總裝機容量而言，歐洲、美洲與非洲分別增加 734MW、698MW 與 134MW。整體而言，亞洲在小水力發電增加速度是比較緩。

若比較該地區被評估合適發展小水力發電潛能與目前實際開發小水力發電潛能，如圖 2.1.5 所示，則可發現東亞、中亞與東南亞都是目前已開發(Installed SHP Capacity)與預估可發展小水力發電潛能(Remaining SHP Potential)差距最大三個地區，代表亞洲地區在開發小水力發電上，仍有相當大潛力。

若以各國小水力發電裝機總量而言，中國、美國、義大利、日本與挪威等五個國家是全世界小水力發電裝機量前五名，這五個國家小水力發電總裝機量佔全世界總裝機量之 71%。

整體而言，由上述文獻可看出小水力發電近年來在國際上發展是逐漸攀升，尤其在歐洲、非洲與東亞等區域，歐洲挪威水力發電量甚至已佔年總發電量超過 90%以上。台灣所位處東亞與東南亞區域，東亞與東南亞小水力發電仍有相當大開發潛力待開發。而國際已開發國家偏多北美洲與歐洲都大量投入小水力發電開發，代表藉由小水力

發電找尋低碳能源是這些先進國家拓展綠能發電關鍵來源。

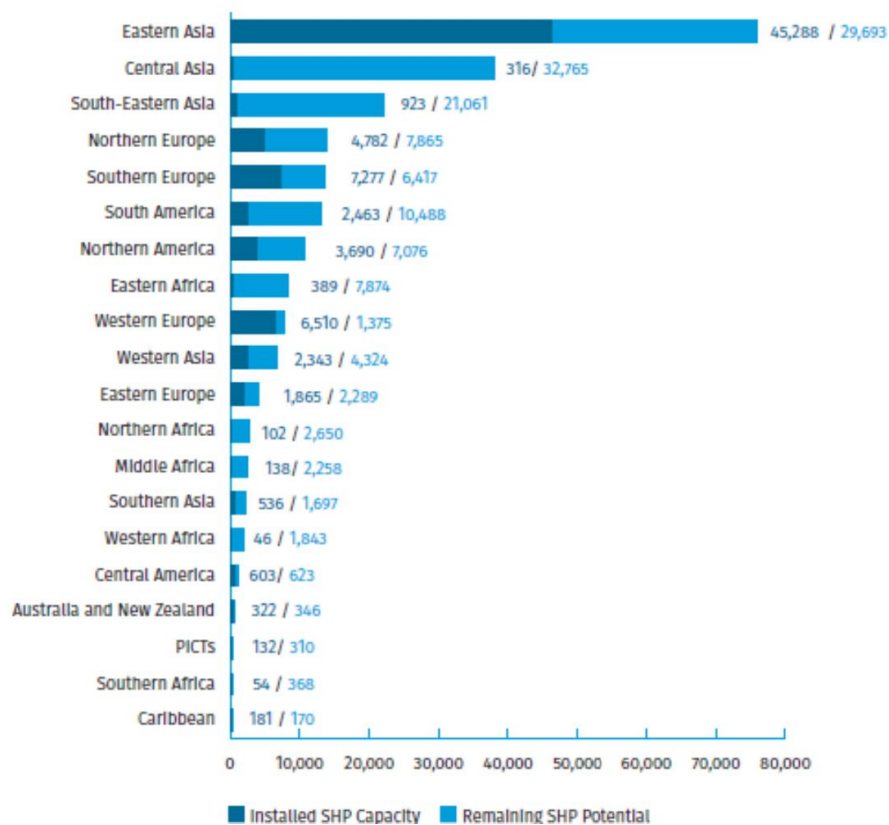


圖 2-1-5 各洲已開發與預估可開發小水力發電差距分佈圖

以現今科技發展而言，小水力發電已經是一項成熟技術，更可協助已開發國家與開發中國家在綠色能源上取得，尤其對於農村地區更可取得乾淨且可持續使用電力來源。小水力發電也可協助貧困地區提升普及供電目標，也可達到協助開發再生能源、降低溫室氣體排放與降低氣候變遷威脅等目標。全世界小水力發電發展報告由 2013 年開始至 2022 年版，全球小水電裝機總量增長 12%，達到 79GW，但已

知小水力發電待開發潛力估計為 221.7GW，代表仍有大量小水力發電等待開發。世界許多地方小水力發電仍有進步空間。

全世界小水力發電發展報告(WSHDR)2022 年版也針對各國預備發展小水力發電給予建議發展流程，如以下七點所述：

(一)進行詳細小水力發電資源評估(Undertake detailed resource assessments)：開發中國家與已開發國家應該應用新技術、生態條件考量、相關法規與現有基礎設施改造和舊有基礎設施改善等資料，重新評估可能產生小水力發電潛力等。

(二)制定適當政策和法規(Develop appropriate policies and regulations)：為可取得再生綠色能源先創立合適法規與政策，法規與政策應具備對於再生能源使用具有積極鼓勵性質，各國公務單位也應該創立單一申請窗口，降低使用小水力發電再生能源上困難，並簡化許可流程。

(三)促進獲得可持續融資來源(Facilitate access to sustainable sources of financing)：為鼓勵再生能源開發與使用，建議各國政府降低開發再生能源業者對於資金融資來源與額度，提供更方便融資允許門檻。

(四)提升或引入小水力發電行業所需取得設備與技術(Facilitate

access of the SHP industry to equipment and technology)：引入高科技及低污染小水力發電技術與設備，有助於提升各國對於小水力發電再生能源使用總量。

(五)提供可靠基礎設施(Provide reliable infrastructure)：小水力發電需要水頭落差、流量與穩定發電網絡，這些設施大部分屬於基礎設施，各國政府建議提供穩定基礎設施，以提升後續業者對於小水力發電再生能源使用可能性，尤其在山區偏遠地區且接近河流村莊，可考慮以小水力發電成為該村落穩定電力來源。

(六)提高當地小水力發電技能和專業知識(Improve local skills and expertise)：經由加強小水力發電之可行性研究、建設、運行維護等方面能力建設，各國小水力發電行業將更能做到自給自足及永續使用之目。

(七)加強國際和地區間合作(Strengthen international and regional cooperation)：與國際或鄰近國家交流小水力發電相關知識與技術，是將再生能源納入主流電力之重要關鍵。

小水力發電還有設置成本較低特性，相較於其他發電方式都需要採用大量硬體建設，但小水力發電可在河川中放入發電儀器及少量硬體建設，即可進行發電。作為成本最低再生能源技術，小水力發電還

可提供淡水管理、減緩氣候變遷和適應氣候等服務，因此若比對聯合國永續發展指標，小水力發電發展可符合以下數個永續發展指標發展方向：

(一)SDG 6 淨水及衛生(Clean Water and Sanitation)：確保所有人都

能享有水、衛生及其永續管理。

(二)SDG7 可負擔潔淨能源(Affordable and Clean Energy)：確保所有

人都可取得負擔得起、可靠、永續及現代能源。

(三)SDG 9 工業化、創新及基礎建設(Industry, Innovation and

Infrastructure)：建立具有韌性基礎建設，促進包容且永續工業，

並加速創新。

(四)SDG 13 氣候行動(Climate Action)：完備減緩調適行動，以因應

氣候變遷及其影響。

二、為何小水力發電在世界各國受到重視

核能發電與火力發電是過往 30 年世界各國主要發電形式，但核能發電核廢料處理、核電廠受可能天災影響不確定性與火力發電所產生空氣污染等三大問題，讓提倡環境永續發展國際社會逐漸考慮是否有其他替代選項，這也是綠色能源興起主因之一。

近年所發生核電廠受天災影響最著名案例為 2011 年日本 311 大地震造成福島第一核電廠發生事故，而此事件讓日本政府認真思考啟動所有可行綠色能源選項，而日本也是過往 10 年間，建構小水力發電最廣泛國家。

相關新聞報導曾比較過水力發電、太陽能發電與風力發電優缺點，如表 2-1-1 所示(未來生活實驗室，2021))。由該表可看出水力發電在產生污染種類是最低綠色能源，且幾乎 24 小時都可以發電，但需在興建地點具有足夠流量且會對河川環境棲地產生影響。

表 2-1-1 資料顯示水力發電會對河川環境棲地造成影響，但如果降低水力發電規模，例如興建水庫壩體以營造大型水力發電更改成興建小型水力發電機組，並興建在河川內或河川旁，對河川環境棲地影響就會相對減小，這也是為什麼歐洲與美國都對於以興建大型壩體來產生再生能源都不支持，但卻支持小水力發電主因。

另外，水力發電在發電效率與碳排放量上比起其他綠色能源也相對有利，根據日本發展小水力發電經驗可分成下述兩點：

(一)水力可 24 小時穩定發電，水力發電效率是太陽能 6 至 8 倍。

(二)從發電機組製造過程而言，太陽能板製造過程有耗能、不易回

收特性；水輪機都是金屬結構，不會有大量電力使用。太陽能

發電機組製造過程是水力發電機組製造過程 5 倍碳排放量。

表 2-1-1 水力發電、太陽能發電與風力發電優缺點比較

類別	太陽能發電	風力發電	水力發電
方式	吸收太陽光，轉化成電能	風力帶動葉片旋轉產生電力。	水位高低落差帶動發電機產生電力。
優點	1.有陽光就能發電 2.無噪音和廢料污染。	1.有風就能發電 2.無廢料污染、空污、輻射或二氧化碳等問題。	1.水力資源豐富即可發電。 2.水源可重複利用，無污染問題。
缺點	1.無法 24 小時供電 2.需大量平面面積。	1.無法 24 小時供電 2.噪音問題 3.風力強大區域才能建造發電廠。	1.破壞河川生態環境 2.受降雨量影響 3.建築大型水壩成本高。

備註：本資料由今週刊資料進行彙整。

鑑於以上各點，多數國家在近年都在興建小水力發電，圖 2-1-6 則為世界各地案例。圖 2.1.6a 為巴西 Abrasa 案例(發電量約為 1.5 MW)，圖 2.1.6b 為中國湖北省蒼坪河案例(發電量約為 9.1 MW)，圖 2.1.6c 為巴西 Ludesa 案例(發電量約為 30 MW)，圖 2.1.6d 為加拿大

Rutherford 案例(發電量約為 49 MW)。



圖 2-1-6 小水力發電在世界各國案例(Couto et al., 2018)

三、台灣發展小水力發電現況及未來可能遇到問題說明

小水力發電偏重於以河川流量或流速進行發電，因此相當仰賴於設置案點地形分佈與雨量分佈。以營造小水力發電優勢而言，台灣地形偏陡峭，台灣年降雨量約 2511 mm(依據水利署長期統計至 2022 年雨量資料為主)(經濟部水利署，2022)，在全世界年平均降雨量排名位於第 14 名，對於營造足夠河川流量是具有良好的條件。但以小水力發

電劣勢而言，台灣降雨量時間與空間分佈不均、台灣上游野溪具有大量土砂、台灣水環境內水力能源使用法規等問題，都是台灣未來在發展小水力發電可能產生問題。

目前台灣小水力發電主要依據法規是 2023 年公告再生能源發展條例，依據再生能源發展條例第三條第一款所敘：「再生能源：指太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、非抽蓄式水力、國內一般廢棄物與一般事業廢棄物等直接利用或經處理所產生之能源，或其他經中央主管機關認定可永續利用之能源。」，依據再生能源發展條例第三條第七款所敘：「小水力發電：指利用水道、圳路、管渠或其他水力用水以外用途之水利建造物之原有水量及落差，以直接設置或另設旁通水路設置之方式，轉換非抽蓄式水力為電能，且裝置容量未達二萬瓩之發電方式。」根據此兩款法規，可清楚定義小水力發電在台灣所適用範圍。

根據劉宏仁等(2024)對台灣小水力發電統計，台灣目前已商轉或商轉中小水力發電廠共 30 座，如圖 2-1-7 所示，該研究也認為近年來台灣小水力發電裝機或建廠數逐漸增加，可發現小水力發電在台灣逐漸受到重視。由圖 2-1-7 可看出，早期台灣小水力發電基本上都是由台灣電力公司所主導，直到 1990 年才開始有民間單位投入小水力發電，即為 1990 年由聚電企業開發公司在卑南上圳小型發電廠。

電廠	區域	水源	興建年份	水輪機型式	裝置容量 (kW)	電廠型式	管理單位
粗坑機組	新北市新店區	新店溪	1907	豎軸卡布蘭式	5,000	川流式	台電公司
后里機組	台中市后里區	大安溪	1908	橫軸法蘭西斯式	940	川流式	台電公司
竹門機組	高雄市美濃區	荖濃溪	1908	橫軸卡布蘭式	2,670	川流式	台電公司
軟橋機組	新竹縣竹東鎮	上坪溪竹東圳	1919	貫流式	230	川流式	台電公司
北山機組	南投縣國姓鄉	南港溪	1919	橫軸法蘭西斯式	4,320	川流式	台電公司
六龜機組	高雄市六龜區	荖濃溪	1919	橫軸法蘭西斯式	4,500	川流式	台電公司
濁水機組	雲林縣林內鄉	濁水溪	1921	豎軸卡布蘭式	3,670	川流式	台電公司
社寮機組	台中市石岡區	大甲溪	1921	橫軸法蘭西斯式	945	川流式	台電公司
天坪機組	宜蘭縣三星鄉	蘭陽溪	1921	橫軸法蘭西斯式	8,375	川流式	台電公司
清水機組	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	1936	橫軸法蘭西斯式	6,000	川流式	台電公司
初英機組	花蓮縣吉安鄉	木瓜溪	1938	卡布蘭式	2,000	川流式	台電公司
漢口機組	花蓮縣壽豐鄉	壽豐溪	1938	橫軸法蘭西斯式	2,700	川流式	台電公司
桂山機組	新北市新店區	南勢溪	1939	豎軸法蘭西斯式	13,000	調整池式	台電公司
圓山機組	宜蘭縣三星鄉	蘭陽溪	1939	豎軸法蘭西斯式	18,000	川流式	台電公司
東興發電廠	台東縣卑南鄉	利嘉溪	1941	豎軸法蘭西斯式	800	川流式	台電公司
榕樹機組	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	1965	豎軸卡布蘭式	2,700	川流式	台電公司
水簾機組	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	1982	豎軸法蘭西斯式	9,500	川流式	台電公司
龍溪機組	花蓮縣秀林鄉	木瓜溪	1983	橫軸法蘭西斯式	4,700	川流式	台電公司
后里示範機組	台中市后里區	大安溪	1986	貫流式	110	川流式	台電公司
卑南上圳小型發電廠	台東縣卑南鄉	鹿野溪	1990	橫軸法蘭西斯式	2,200	川流式	聚電企業開發公司
水里機組	南投縣水里鄉	水里溪	1991	豎軸法蘭西斯式	12,750	川流式	台電公司
烏山頭水力發電廠	台南市官田區	官田溪	2000	豎軸卡布蘭式	8,750	水庫式	嘉南實業有限公司
名間水力發電廠	南投縣名間鄉	濁水溪	2004	豎軸卡布蘭式	16,700	川流式	名間水力公司
西口水力發電廠	台南市東山區	曾文溪	2004	豎軸法蘭西斯式	11,520	川流式	嘉南實業有限公司
八田水力發電廠	台南市官田區	官田溪	2012	豎軸軸流式	2,196	水庫式	嘉南實業有限公司
關山圳水力電廠	台東縣海端鄉	關山圳	2016	豎軸卡布蘭式	1,000	川流式	經一綠能公司
景山分廠	苗栗縣卓蘭鎮	景山溪	2017	豎軸法蘭西斯式	4,000	水庫式	台電公司
二水 N19 水力電廠	彰化縣二水鄉	濁水溪	2018	直立川渠式	480	川流式	經一綠能公司
湖山機組	雲林縣古坑鄉	清水溪	2019	橫軸法蘭西斯式	1,950	水庫式	台電公司
牡丹小型水力發電廠	屏東縣牡丹鄉	牡丹溪	2020	橫軸法蘭西斯式	490	水庫式	南區水資源局

圖 2-1-7 台灣目前已商轉或商轉中小水力發電廠資料

(本圖引用自劉宏仁等(2024))

多數工程開發都會需要環境影響評估過程，依據開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準法規第二十九條第二款所敘：「水力發電廠（不含利用既有之圳路或其他水利設施，且裝置或累積裝置設置未達二萬瓩之水力發電系統）興建或添加機組工程，符合下列規定之一者：

(一)位於國家公園。

- (二)位於野生動物保護區或野生動物重要棲息環境。
- (三)位於重要濕地。
- (四)位於臺灣沿海地區自然環境保護計畫核定公告之自然保護區。
- (五)位於海拔高度一千五百公尺以上。
- (六)位於水庫集水區。
- (七)位於自來水水質水量保護區。
- (八)位於山坡地，設置攔水壩（堰）高度五公尺以上。
- (九)裝置或累積裝置容量二萬瓩以上。」

因此只要小水力發電設施不在開發行為應實施環境影響評估細目及範圍認定標準法規第二十九條第二款所提及七種保護區、高度在5公尺以下且裝置容量未達二萬瓩以上等條件，則該小水力發電開發行為可免除環境影響評估。

劉宏仁等(2024)以其研究對台灣小水力發電未來發展提出建議，本研究彙整該研究建議文稿如下列幾點所述：

- (一)水資源再生能源永續發展：小水力發電設施營造應以水資源再生能源永續發展為首要目標。
- (二)建立穩定流量量測資料：小水力發電評估首要基礎即為該水環

境長年流量資料，包含下游河川、上游野溪、灌溉排水圳路等，但目前台灣流量量測紀錄僅在下游河川地區較普遍，在上游野溪較少有長期流量量測紀錄資料。

(三)建立公務單位單一收案窗口：小水力發電在台灣正在起步階段，且需要經由民間自行籌資且比對相關法規才得以辦理，劉宏仁等(2024)研究建議比對過往太陽能再生能源辦理方式，在公務單位推動單一收案窗口，降低興辦過程行政困難。

(四)鼓勵民間企業建立小水力發電廠：鼓勵民間企業投入小水力發電，並營造健全小水力發電與再生能源產業鏈。

(五)推動綠色能源與再生能源相關教育理念：讓人民更瞭解全國電力來源與未來發展趨勢，有助於民間更瞭解如何參與綠色能源開發。

(六)建立綠色能源金融體系。

台灣水環境相關三大行政單位(包含經濟部水利署、農業部農田水利署與農業部農業發展與水土保持署)在小水力發電發展潛力案點仍處於盤點與初步設置過程，依據水利署 112 年對全台河川及灌溉渠道進行小水力發電發展潛力案點盤點結果(經濟部水利署，2023)，提出 47 處河川及 2 處灌溉渠道小水力發電潛能地點。農業部農田水利

署也在 2023 年提出 13 處小水力發電潛力場址(農業部農田水利署，2023)。農村發展與水土保持署則在 2022 年成功推動位於苗栗縣公館鄉黃金小鎮公民電廠，本案由國泰人壽、小水力新創企業恆水創電公司及官方農村發展與水土保持署台中分署共同推動，凝聚苗栗縣石牆、福基及福星等 3 個農村社區發展綠電共識，攜手催生黃金小鎮公民電廠(李婉如，2022)。

小水力發電需具備高程落差(水頭落差)與流量等兩條件，這也使佔台灣面積 72%山坡地區具有高度發展小水力發電可能。台灣山坡野溪遍佈，目前山坡地農村野溪多半引為灌溉或防止土砂運移之用，但小水力發電並不影響灌溉與防止土砂運移，因此可思考如何在原有設施上結合小水力發電可能。經濟部能源局副局長李君禮在 2022 年第五屆小水力發電產業發展論壇也提到：「應思考山坡地區防砂壩體為發展小水力發電可能對象」。在多砂野溪河岸旁興建小水力發電，利用興建工程引部分水流進入發電，也是一個可兼顧野溪土砂運移與降低生態影響方式，而這也符合比利時水力發電公司 Turbulent 創辦人 Geert Slachmuylders 在 2022 年第五屆小水力發電產業發展論壇表達：「未來小水力發電應該是去中心化、融入自然做法」。

四、水力發電機組可能對生態棲地環境影響

任何水環境工程建設都有可能產生對生態棲地影響，水力發電機組也不例外，本研究從對河川縱向廊道、河川橫向廊道與對生態物種多樣性及密度來說明此問題。

河川縱向廊道是魚類生物於河川上下游之間游動主要路徑，因此在河川上興建提高落差水頭工程(例如壩體或固床工)都會造成對魚類生物會造成活動上阻礙。在小水力發電應用上，於山坡地野溪設置水力發電機組方式都需要另外興建壩體以提高水位落差，因此在本質上就已經是縱向廊道阻礙。若要採用興建壩體，則需多考量如何降低魚類迴游落差，例如降低壩體高度至魚類可回溯高度(至少 1 公尺以下)或興建魚道等方式。

河川橫向廊道是兩棲類生物生活環境(例如青蛙)，一般對橫向廊道會造成影響人為工程如同護岸或堤防等。興建小水力發電機組較少用到護岸或堤防，興建小水力發電機組會需要用到興建壩體與在山坡地上興建導水管、調整池或發電機組等工程，這些工程都具有在山坡地開挖特性，若在地質脆弱或易崩山坡地上，可能會造成土壤沖蝕或崩塌等災害，進而影響河川橫向廊道生態棲地。

Couto et al.(2018)曾收集各國小水力發電對生態影響，如表 2-1-2 所示。多數小水力發電機組興建都需要從河川取部分水量至發電機組內進行發電，也因此代表原來河川流量會降低，尤其在有興建壩體提

高河川水位案例中，壩體下游水量降低會明顯影響下游河川中魚類與大型無脊椎物種，且為魚類食物藻類及葉綠素也會降低，這導致當地物種會逐漸更改為僅需較少流量即可生存小型物種為主。若當地小水力發電量越高，對水中生物影響就會越明顯。

表 2-1-2 興建小水力發電機組對水中生物影響彙整表

水流控制	壩體結構	發電容量(MW)	生態影響	國家
蓄水	有分流	18	因為壩體造成縱向廊道區隔，且壩體下游河川水量減少，造成魚類物種組成多樣性降低或魚類生態區域性降低。	哥斯大黎加
		<10	壩體下游無脊椎動物密度和豐富度下降，僅需低流量即可生存物種取代原本需高流量方可生存物種	葡萄牙
		<1	在原本通水河道上附生葉綠素和生物量幾乎沒有差異。	西班牙
	無分流	<1	興建小水力發電機組破壞近河岸植生，導致水中魚類密度降低。	巴西
		未說明	因為壩體下游水量減少，也導致大型無脊椎動物群落多樣性減少。	葡萄牙
未蓄水	有分流	<10	因為河川部分流量被引為小水力發電使用，導致河川流量降低，魚類物種改以小型物種為主。魚類個體重量與總魚類量都降低約 4 倍。生物量損失與從河川取水程度成	捷克

			正比	
		<1	在壩體下游，底棲大型無脊椎動物群落出現明顯降低，較適應高流量蜉蝣生物與石蠅物種都出現降低現象。	英國
		未說明	小水力發電機組興建後，底棲藻類群落和河川葉綠素濃度發生明顯降低，且在旱季河川流量更低季節，此降低更為明顯。	中國

備註：本表翻譯自(翻譯自 Couto et al.(2018))

第二節 水力發電結合農村發展評估

小水力發電除可提供綠電需求外，另外一個關鍵則是帶動農村再生。小水力發電所發出電力，除可提供給當地民眾使用，也可賣給台電納入主體電網，更可進行碳權交易，這也是為什麼台灣恆水創電小水力發電公司在 2022 年接下宜蘭安農溪和台中后里灌溉溝渠小水力發電工程，台灣積體電路製造股份有限公司立即與該公司簽下兩年綠電採購開口合約，關鍵在於台灣電子業目前所使用電力產出商品仍屬於高碳排產品，而在國際 RE100 (百分百再生能源)倡議下，電子業都在積極找尋低碳排能源。經由小水力發電而來電力、金錢或碳權收益，都可能是山坡地農村地區再生重要機會。

小水力發電如何結合農村發展是未來台灣發展山坡地農村綠能

發電重要一環，瞭解其他國家在小水力發電結合農村發展案例或法規，將有助於台灣未來山坡地農村發展綠能發電規劃。台灣要將農村發展與小水力發電結合第一步應該先審視近年來其他國家如何結合農村發展與小水力發電，並瞭解其他國家如何盤點具有小水力發電潛勢農村，跟當地政府如何促成農村居民投資小水力發電站過程。本研究在本小節彙整 3 個日本山坡地農村興建小水力發電案例，並引入日本在 2011 年提出農村社區小水力發電潛勢評估流程，可為日後台灣發展相關規模與盤點農村過程之參考。

日本是近年來大量興建小水力發電標準案例，日本因為 2011 年 311 大地震造成福島第一核電廠發生事故，讓日本人民開始思考「是否有核能以外能源選項」，也讓日本開始將小水力發電納入考量。日本近年在小水力發電有長遠進展，以 2017 年調查資料顯示：日本小水力發電在日本分佈如圖 2-2-1 所示。日本大多數小型水力發電效率約介在 100 kW 至 1000 kW 之間，總發電量達到 35 萬 kW，年發電量達 1.6 億 kWh，約可供應 2.1 萬人年均用電量。

日本跟台灣在發展小水力發電地貌與背景都相近，同樣都具有高山地形，也都具有農村人口外移背景。因此日本農村社區如何藉由小水力發電收入而逐漸改善農村並讓年輕人返鄉案例，例如日本岐阜縣郡上市石徹白地區，是值得台灣山坡地農村未來發展參考。

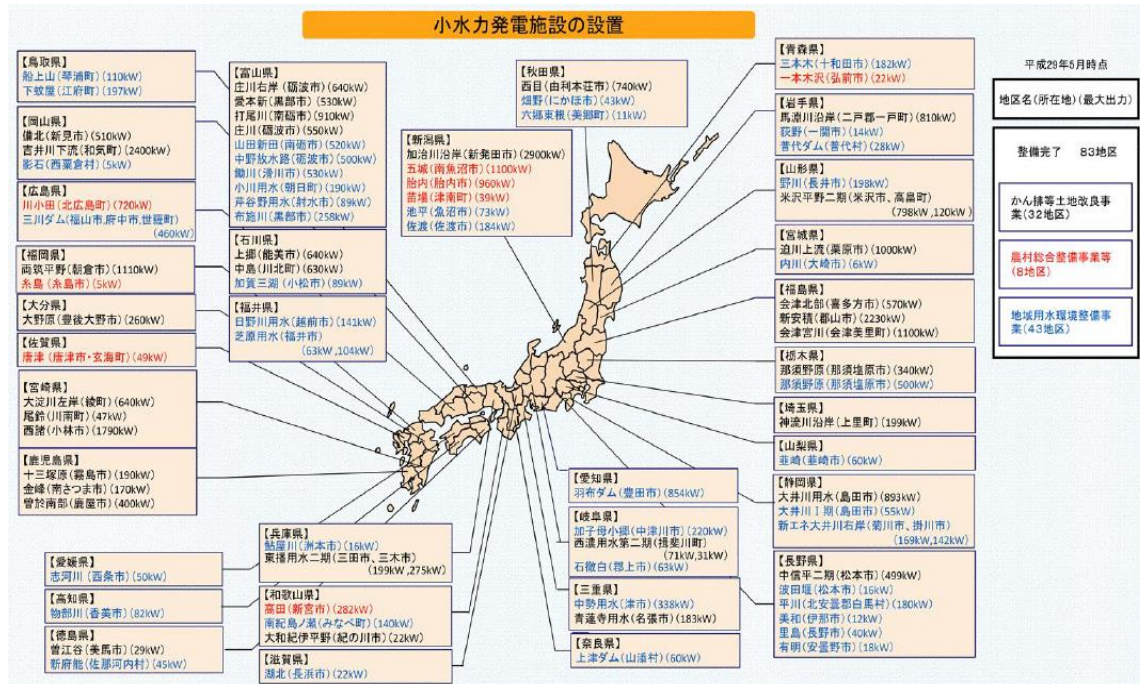


圖 2-2-1 已開始營運小水力發電在日本分布(2017 年資料)

本章節內容主要分析來源為世界小水力發電報告 2019 年版(WSHDR 2019)、世界小水力發電報告 2022 年版(WSHDR 2022)、小規模水力發電發展導引手冊(由日本國際協力機構 Japan International Cooperation Agency(JICA)於 2011 年所提出)。

一、日本山坡地農村案例：日本佐賀縣吉野ヶ里町松熊村小水力發電

(一)松熊村小水力發電背景資料

松熊村總面積約 2.7 平方公里，根據 2015 年人口調查數據，該村落有 43 戶 136 人，幾乎都以農業為主要經濟活動。該社區在 1945 年起就已經有一座 36 千瓦小型水力發電廠在運作，但長年缺

乏適當管理和運作維護。

松熊村多年來也面臨人口老化與年輕人口外移問題，且原本用於農業灌溉聯繫道路與圳路也缺少維護，因此松熊村當地仍居住居民在思考如何找出一個重新活絡該村落生活與經濟活動，並能夠增加社會福利與永續方法。

2016 年，日本大量推行綠能發電相關政策，佐賀縣政府評估松熊村境內小水力發電潛勢，因此提出在松熊村重新建設一個 30 千瓦小水力發電設施，並認為發電量足夠提供當地村落所需之外，還能夠有多餘電力匯入九州電網提供穩定電力。

在佐賀縣政府與松熊村居民商談過後，松熊村居民同意在社區內興建小水力發電廠。當時佐賀縣知事山口義德認為：「老化程度高山區村落不應該僅靠補貼生存，應該找出一個能讓村落永續發展方法。」

(二)松熊村小水力發電興建過程

松熊村小水力發電站設置方式是先找到距離發電站最近一之瀨井關防砂壩體(Ichinose izeki sabo dam)，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。該小水力發電站是一個貨櫃屋，並在貨櫃屋內裝設發電儀器，貨櫃屋外設置靜水池，如圖 2-2-2 所示，在鋪設電力分配網路後，即可進行發電。

使用貨櫃屋目在於降低興建開發對於當地山坡地環境破壞，也易於日後要更換位置時所做移動。

松熊村小水力發電站由一之瀨井關防砂壩體取水源後，經由當地農業灌溉圳路將水源引流至發電站鄰近，在進入發電站前，會先經過一個經由水門管控靜水池，並在靜水池內沉澱泥沙與清除垃圾，之後再將水源經由鋼管引入發電站內。而發電後水量則直接排入農業灌溉圳路，繼續提供下游農田灌溉使用水量。表 2-2-1 為松熊村小水力發電興建資料。

松熊村小水力發電站採用橫流式水輪機(cross-flow turbine)，總輸出電力為 30 KW，每年估算發電量約為 212 百萬度(MWH)，發電水源來源取自防砂壩體，有效水頭為 20.4 公尺，設計流量為 0.22 m³/s。

松熊村小水力發電站也結合智慧物聯網(IOT)遠端控制系統，可以自動偵測小水力發電站相關數據，包含水頭變化、輸出電量、總發電量、發電軸承溫度、發電葉片控制等。該小水力發電站可以從世界任何地方進行遠端監控和控制，若發生緊急狀況時(例如電網故障)，該小水力發電站會再 20 秒內關閉，並在電網恢復後可自動重新起動。



圖 2-2-2 日本佐賀縣松熊村小水力發電站照片

表 2-2-1 松熊村小水力發電興建資料

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。

(三)松熊村小水力發電社區籌資與政府協助過程

松熊村小水力發電站興建成本約為 6,000 萬日圓，日本佐賀縣當時為促成當地社區居民願意投資這個小水力發電站，因此給予低利貸款與較高購電費率。松熊村社區發展協會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。而若相關條件不變情況下，這項投資將會在興建後第 9 年即回本，而此小水力發電站原預計將維持 20 年，等同從第 10 年至第 20 年都會是淨賺。

松熊村小水力發電站在成立之初，先由松熊村成立松熊社區開發有限公司，農村內所有家庭都是這家公司股東，當時每一戶家庭都貢獻 5000 日元，松熊社區開發有限公司共募集到 200000 日圓。日本佐賀縣也給予 1% 利率貸款 20 年，用於興建這個小水力發電站相關費用。

(四)松熊村小水力發電營運後各項效益

1.永續效益：松熊村小水力發電站達到聯合國永續指標 SDGs 7、8 和 13 具體目標。

2.經濟效益：該發電站除提供當地居民用電需求外，也將多餘電力賣給日本九州電力公司，這筆收入用於該農村建設或活化農村用途。

3.社會效益：松熊村小水力發電站目前所有人是松熊村社區發展協會，這個小水力發電站也在當地創造至少 20 年小水力發電廠維護與管理就業機會。

4.環境效益：松熊村小水力發電站增加日本再生能源，也降低碳排放量。根據日本再生能源數據估算：再生能源發電每千瓦時相當於 0.555 公斤二氧化碳估算，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。

(五)從松熊村小水力發電站所學到六個經驗

- 1.山區野溪具備豐富水量，可用於當地開發小水力發電。若該農村已有過往興建農田灌溉圳路，則更合適於興建小水力發電設施。
- 2.農村興建小水力發電站對於當地農村與政府是一個雙贏局面，小水力發電站協助當地農村降低人口外移，也協助政府降低碳排放和實現永續發展目標。
- 3.如何鼓勵當地居民參與是最重要關鍵，讓居民成為這個計畫關鍵利害關係人(股東)，當一個社區引入良好小水力發電商業模式，會讓當地居民有更大動力去維護並管理小水力發電站，而讓小水力發電站帶給該村落經濟盈餘能夠永續。
- 4.政府機關應該在社區營運小水力發電站商業模式中扮演增加透明度與公正性角色，讓在地居民更願意投入。
- 5.此類小水力發電計畫能夠成功重要關鍵就在於政府提供便捷申請過程、低利貸款與相關補貼措施。
- 6.結合近年物聯網(IOT)與遠端遙控技術，小水力發電站運作可以是以易於安裝、維護和控制，並且讓整個運作模式更加安全且高效率，並可降低人力維護成本。

二、日本山坡地農村案例：日本鹿兒島大竹村小水力發電

(一)大竹村小水力發電背景資料

日本政府認為小水力發電是一項可靠且可持續電力來源，因此只要任何農村社區有足夠數量且未使用流動水源，日本政府就會評估開發小水力發電潛勢。近年來日本政府簡化水權申請制度，同時制定在全國範圍內啟動數千個小水力發電計畫目標。日本境內擁有豐富野溪或河川分佈，特別是在山區，過去曾為農田灌溉而建造許多灌溉圳路。其中一些灌溉渠道至今仍在使用。越來越多農田灌溉圳路被用來生產小水力發電，以促進農村發展、降低農村人口外移與老化問題。

位於鹿兒島大竹村小水力發電即為日本政府鼓勵農村社區發展小水力發電，在給予電價補貼及低利貸款而成功案例。大竹村小水力發電位於日本西南部鹿兒島縣，當地經濟活動以農業為主，並產綠茶、地瓜、蘿蔔和春亞紡米為主。鹿兒島縣農村在近 50 年來都面臨人口外移問題，主要是農村缺乏就業機會和設施。

(二)大竹村小水力發電興建過程

大竹村小水力發電計畫於 2017 年 6 月開工，總投資約 46 萬美元，全部由開發商自籌資金，開發商是在當地運營重和土木工程公司(Shigekazu Co. Ltd)。大竹村小水力發電在 2018 年 5 月開始發

電，由既有農業灌溉圳路引出部分水源，此小水力發電之有效水頭為 63m，設計流量為 0.07 cms，引出水源會先儲存在 6 立方公尺小型鋼水箱中，然後引入壓力鋼管並啟動渦輪發電機旋轉，所產出電力除提供當地居民使用外，也賣給日本鹿兒島電力公司。大竹村小水力發電如圖 2-2-3 所示。

大竹村小水力發電是採用貨櫃屋為小水力發電站，所有發電相關機械、電氣控制設備均在工廠內預先安裝，這可有效降低興建過程對當地環境破壞與興建時間。

大竹村小水力發電總發電量扣除給予當地居民使用以外，其餘賣給當地電力公司成為綠色能源，重和土木工程公司在大竹村小水力發電總投資金額為 5000 萬日圓，但每年重和土木工程公司(Shigekazu Co. Ltd)可從中獲利 730 萬日圓。大竹村小水力發電工程使用壽命規劃為 20 年，但估計重和土木工程公司(Shigekazu Co. Ltd)將在營運後第七年收回成本，代表第 8 年到第 20 年都會是淨利潤。

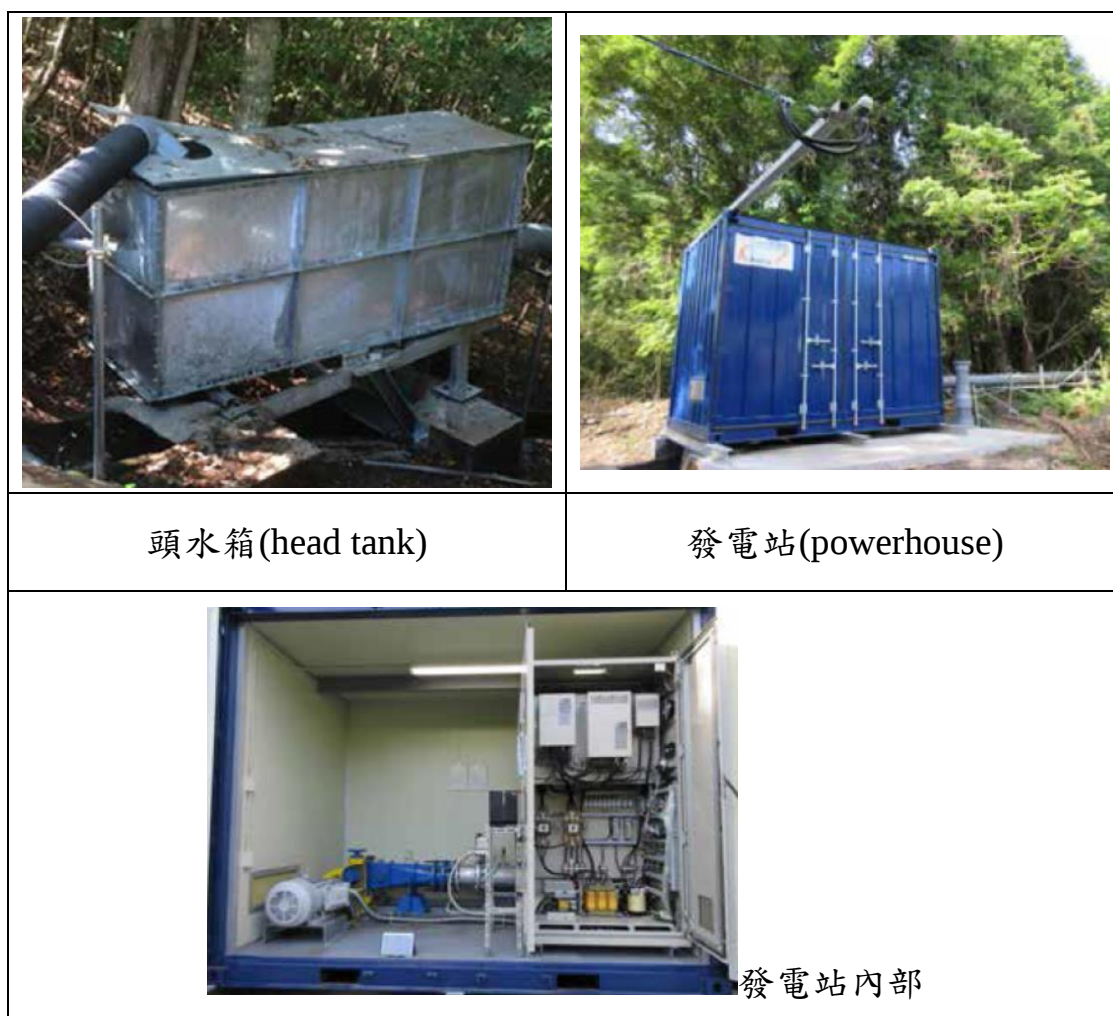


圖 2-2-3 大竹村小水力發電站

(三)大竹村小水力發電營運後各項效益

- 1.永續效益：發展農村地區，大竹村小水力發電有助於政府推廣乾淨能源並達到永續發展目標，包含 SDG 7「確保所有人獲得負擔得起、可靠、可持續現代能源」、SDG 8「促進持續、包容和永續發展」「經濟成長、充分生產性就業以及人人有體面工作」與 SDG 13：「採取緊急行動，透過監管排放和促進再生能源發展來應對氣候變遷及其影響」。

- 2.經濟效益：小水力發電站促進當地農村發展和當地公司發展，在當地運營土木工程公司 Shigekazu Co. Ltd 從政府提供電價補貼中獲得經濟利益。
- 3.社會效益：大竹村小水力發電對當地提供就業機會與刺激當地商業。大竹村小水力發電主要營運商重和土木工程公司 (Shigekazu Co. Ltd)為維護與管理小水力發電設施，因此提供當地至少 20 年小水力發電相關就業機會。
- 4.環境效益：大竹村小水力發電增加日本再生能源，也降低碳排放量。根據日本再生能源數據估算：再生能源發電每千瓦時相當於 0.555 公斤二氧化碳估算，大竹村小水力發電每年發電 180 兆瓦時，預計每年可減少 100 噸二氧化碳排放。

(四)從大竹村小水力發電站所學到兩個經驗

- 1.以貨櫃屋充當小水力發電站構想帶來許多好處：一則是此類貨櫃屋並不難取得且價格便宜；二則所有小水力發電相關機械、電氣和控制設備均在工廠安裝，可讓現場安裝小水力發電站過程更加便宜快速；三則此類貨櫃屋易於移動和安裝，當小水力發電站要更換位置時將會更加簡單。
- 2.小水力發電可以造福當地農村社區和營造公司，同時幫助政府實現永續發展目標。

三、日本山坡地農村案例：日本岐阜縣郡上市石徹白村小水力發電

位於日本中部岐阜縣郡上市石徹白地區是一個藉由小水力發電而拯救農村發展標準案例，石徹白地區是位於山坡地內農業生產地區，近年人口大量外移，在興建小水力發電系統前，該村落人口僅剩 250 人，且高齡長者佔一半以上，村內學校紛紛廢校。

岐阜縣政府為重新活絡該村，剛好搭上日本政府正在大量提倡綠色能源議題，因此岐阜縣政府以該村落石徹白一號用水道來興建四組小水力發電機組，經過多次失敗與努力，四組小水力發電機組在 2016 年發電總度數已經來到 71.1 萬度。以台灣家庭平均用電度數約為 352 度/月，等同 4224 度/年，石徹白小水力發電機組年總發電度數可提供 1683 戶全年使用。石徹白小水力發電機組示意圖如圖 2-2-4 所示，由防砂壩體上游取水，並引入排水渠道後流經四個發電機組，發電後水量重新回到河川。石徹白小水力發電機組現況照片如圖 2-2-5 所示。

單一水道就可以發揮每年 71.1 萬度發電量，如此大發電量對於人口僅剩 250 人小村落而言，顯然是遠遠超過自用電需求。因此當地居民扣除自用電量所剩餘電量，轉賣給日本中部電力公司，每年所取回金錢，一則用於清償當時興建發電設施成本，二則用於振興當地農業。而此舉也讓過往流失人口逐漸回到石徹白地區，以此案例來看台灣山坡地農村，確實有發展小水力發電可行性。

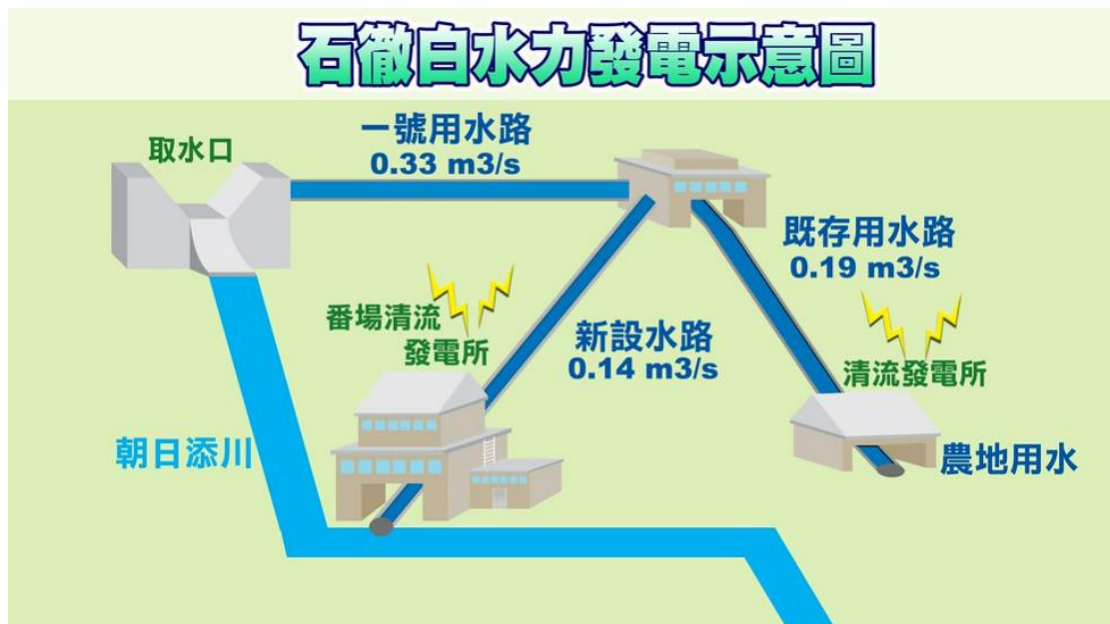


圖 2-2-4 岐阜縣郡上市石徹白地區以河道興建小水力發電示意

(取自 <https://e-info.org.tw/node/207214>，我們島，環境資訊中心網頁)



圖 2-2-5 岐阜縣郡上市石徹白地區小水力發電機組圖

左圖取自 <https://vocus.cc/article/5c060a96fd89780001e72731>

右圖取自 <https://ourisland.pts.org.tw/content/2661>

四、日本如何評估山坡地農村小水力發電潛勢流程

綜觀各國小水力發電相關文獻，要大量發展小水力發電第一步即

為盤點合適場域，由於目前台灣水環境相關單位尚未有如何盤點小水力發電相關步驟或文件產出，建立盤點小水力發電相關法規可能是後續要面臨問題，因此本研究引用日本如何盤點小水力發電相關步驟為說明，以做為台灣後續發展相關法規上參考。

本研究引用由日本國際協力機構(Japan International Cooperation Agency，簡寫 JICA)電力發展部(Electric Power Development Co.)於2011 年所提出「小規模水力發電指引與手冊」(Guideline and Manual for Hydropower Development: Small Scale Hydropower)，該手冊第五章即為「選擇水力發電區域與位置」(Selection of the Area of Electrification and Finding of the Site)，本章節詳細說明如何針對農村進行小水力發電初步規劃，本研究就重點節錄該章節內容，如下分述。

(一)室內分析作業

選擇具備發展小水力發電農村社區前，應該評估該農村水力發電潛力、與電力需求距離及電力系統延伸等因素，建議針對四項因子進行細部調查，包含小水力發電潛力調查、具備電力需求區域、當地建置電力系統可能性與當地取用電力之相關法規確認。

在進行上述初步調查過程中所需要用到資料包含地形圖(比例尺：1/50,000 至 1/10,000)、長期河道流量數據、長期降雨數據、電力系統擴建計畫與可能應用小水力發電河道相關使用法規。

1. 小水力發電潛勢初步評估

在小水力發電潛力調查過程，應依據長期河川流量資料建立河川流量延時曲線(flow duration curve，如圖 2.2.6 所示)，評估超越機率為 95% 流量值(Q_{95})，先設定可發展小水力發電 Q_{95} 流量值下限，各農村 Q_{95} 流量值需達此下限才具備開發潛力。

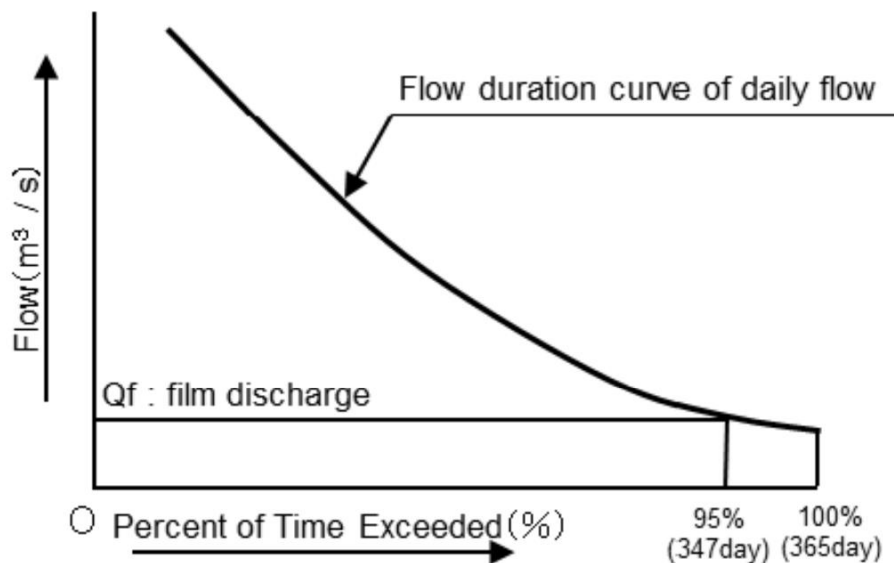


圖 2-2-6 依據河川流量資料建立流量延時曲線(JICA，2011)

位於集水區較上游農村，其鄰近野溪或河川流量可能受到雨季旱季降雨時空差異影響，也可能受到上游地質或植生分佈影響，而當一個村落河川流量有明顯雨季旱季流量差異時，就不具備小水力發電潛力。現在多數流量站都會設置在集水區較下游位置，因此要評估集水區上游特定區域流量，通常會採用排水面積比率法(Drainage-to-Area Ratio method，後簡稱 DAR)

推算集水區上游特定點位流量資料。

水頭估算是評估小水力發電潛勢重要關鍵，此處所稱水頭(head)即為進入小水力發電壩體高程跟出水口高程差距，如圖 2.2.7 所示，此項評估通常會需要先建立集水區河川縱剖面高程分佈圖，並從高程分佈找出落差較明顯區位。有三種點位可能是興建小水力發電候選堰地點，包含河川匯流點下游、瀑布位置與現有農業取水設施等。

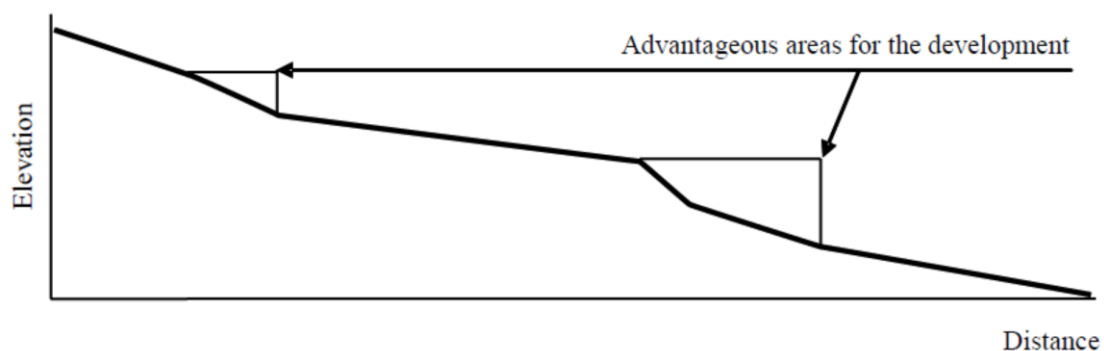


圖 2-2-7 經由河川縱剖面高程分佈找尋可能小水力發電場域

本圖取自 JICA (2011)

2.評估電力需求潛在區域

在農村社區發展小水力發電能對農村自給自足提供巨大財源，但如何評估哪些農村會有此類需求？JICA(2011)報告說明「在發電廠周圍約 20 公里範圍內需具備農村社區」才是具備電

力需求潛在區域，若發電廠周圍約 20 公里範圍內不存在當地社區情況下，即使存在水力發電潛力，輸配電線路損耗與需求相比也會增加，並且輸電線路建設成本也會增加。

3. 確認電力系統配電線路延長可能性

部分農村位於偏遠山區，發展小水力發電前應該確認電力配送系統能夠在當地興建。

4. 興建小水力發電設施所需經過道路或施工便道

小水力發電設施通常位於河川兩岸，但若在山坡地農村社區，則需先評估是否需要另建施工便道才能進入興建場域，若需大量開設施工便道來興建小水力發電設施，則其整體經濟效益會降低甚多，對環境破壞也會增加不少。建議興建地點最好找在已經具有道路可達之處。

5. 開發小水力發電可能觸碰到法規檢視

小水力發電設施興建可能會觸碰到河川或野溪區域開發使用與生態環境相關法規，應優先檢視法規可行性。

(二) 小水力發電站選址與現場勘查

依據上述步驟挑選出幾處具有開發小水力發電潛勢點位，並進行現場勘查。現場勘查內容在於河川流量調查、地形與地質調查、

選定小水力發電機組安裝位置、瞭解河道流量使用情況與鄰近重要古蹟或設施調查等。

河川流量調查是到現場實際量測河川流量，建議可在旱季期間前往，實際瞭解在久未下雨集水區能夠產出多少流量。

地形地質調查目在於評估設置小水力發電輸水管線、進水壩體、進水口、發電動力室及尾水排水口等設施，在當地地形地質條件下興建可行性。一般常見小水力發電設施如圖 2.2.8 所示，從長遠設計而言，上述小水力發電相關設施最好興建在低崩塌潛勢或低災害潛勢位置，可降低未來運轉上風險。

選定小水力發電機組安裝位置上，從理論來看，若能找到較短河川流動距離具有較大地形落差位置，即為小水力發電最具有發電潛勢位置。室內作業先以 1/50,000 至 1/10,000 比例尺地形圖初步判斷，但建議要到現場實際勘查跟調查落差高度。建議攜帶測量儀器至現場實際量測落差高度，方能準確估算該位置小水力發電潛勢。

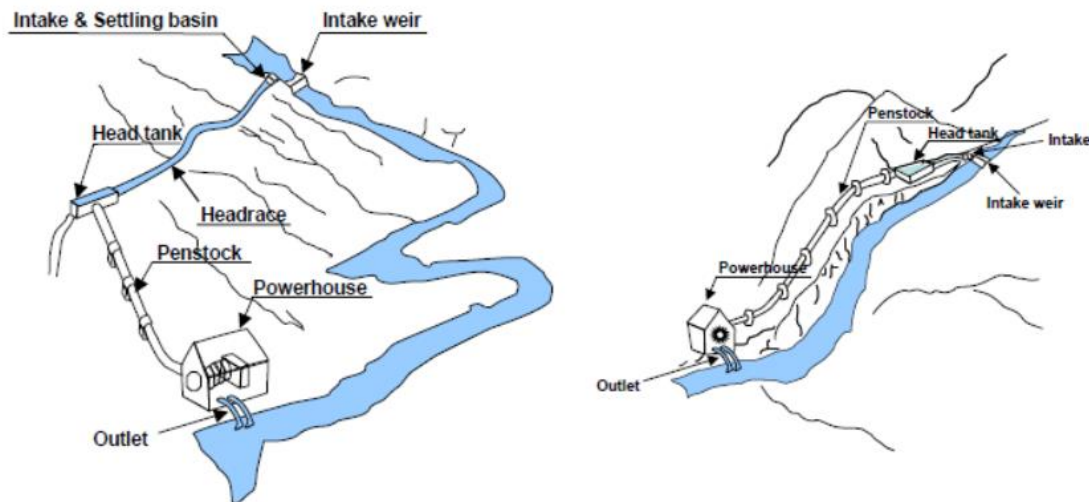


圖 2-2-8 一般常見小水力發電設施(JICA，2011)

在瞭解河道流量使用情況上，在部分農村地區，河道流量有可能會在灌溉期間被引用為灌溉用水，或有可能被堰體攔阻成為蓄水，這些可能導致流量降低情況都必須通盤檢視，瞭解興建小水力發電位置一年之中穩定且可用流量有多少，進而評估是否合乎成本效益。

評估小水力發電設施興建鄰近區域是否具有重要公共場所、稀有動植物生態環境或古蹟名勝場域，這些需在興建過程中一併列入考量。

(三)用電需求與社區調查

針對具有用電需求社區進行初步需求調查，需求調查方式是對當地社區民眾進行訪談，訪談內容包含當地社區名稱與位置、總人

口數與戶數、公共設施種類與位置、主要經濟產業、特殊用電時間需求(例如農忙期間會有大量用電需求)、社區主要使用電器種類。

在當地社區分佈情況調查上，多數山坡地農村社區未必都會非常集中在特定區域，更多農村會有分散聚落，因此調查該農村各分散聚落位置跟距離小水力發電設施距離，有助於後續興建小水力發電設施可行性評估。調查內容有二：一則各分散聚落中心點位置與該聚落總人口數或總戶數，二則由該聚落中心點至最鄰近小水力發電設施距離與途經地形地質特性等。

(四)擬定初步方案

根據前述室內分析與現場勘查內容，初步決定可興建小水力發電設施廠址，並擬定發電計畫。

1.小水力發電機組位置：最好興建於河流坡度緩變處或河川匯流處下游，可獲得較多有效水頭。小水力發電機組設置地點應有下列考量：

- (1)建議位於河川上游到下游屬於順直河道位置。
- (2)河道兩岸邊坡穩定，少發生河岸崩塌位置。
- (3)該位置具有現有取水設施或河道，可降低開發成本位置。
- (4)開發位置鄰近區域具有自然凹地，可降低開發成本且保護

河川環境地點

(5)該位置可允許興建入水口與沉澱池

(6)需詳細評估取水位置是否具有提供其他產業用水需求，例如灌溉用水。

(7)不受下游壩體回水影響位置。

2.引水路線選擇：多數小水力發電為降低對河川或生態影響，都會興建離槽式引水道，如圖 2.2.8 所示。興建引水道會建議在固定水頭條件下，引水道越短越好。建議引水道興建應盡量結合當地高程落差。

3.小水力發電水頭箱設置位置：比對圖 2.2.8，水頭箱(head tank)在小水力發電所擔任角色是準備將水經由落差進入發電設備內。由於水頭箱通常興建於較高邊坡，因此避免興建於邊坡不穩定、凸坡或邊坡可能塌陷位置，水頭箱會經由壓力鋼管將水引入下邊坡發電設備中，建議能使壓力鋼管長度盡可能縮短。

4.小水力發電廠址與出水口位置：小水力發電廠與出水口幾乎都在同一各地點，小水力發電廠選址上有幾點需要注意：

(1)建議興建在河川坡度陡變緩位置。

(2)河岸具有足夠空間興建發電相關設備與機組。

(3)應有穩定對外聯繫道路。

(4)不具備被洪水淹沒可能，不建議興建在狹隘河道旁。

出水口設置位置則有以下幾點考量：

- (1)出水口排放位置不受土砂淤積影響。
- (2)出水口位置避免選在具有河岸淘刷位置。
- (3)排放水流避免影響河道原來順暢流動。

5.計算發電量：發電量估算可如下方公式，P 為發電量(kW)，Q 為發電流量(cms)，He 為有效水頭高度(m)， η 為發電機組發電效率，約在 0.6 至 0.7 之間。

$$P=9.8\times Q_{\max}\times He\times\eta$$

(五)社區電力需求計畫

- 1.最大需求電力估算：以當地農村社區平均家庭電力需求乘以家庭數量來估算總電力需求量。由於農村社區可能會因為經濟活動而有更多電力需求，需考量在內。
- 2.依據所得估算電力需求方法：因為經濟活動、電力政策或地方需求特徵上差異，各農村社區電力需求並不容易估算。年收入跟用電力用正向關係，可列為後續比對參考。
- 3.無法估計所得組別比例時估計：粗略假設需求條件是每戶平均電力需求在 150W 至 200W 之間。

(六)小型水力發電選址

透過上述概要供需計畫，可以確定供需之間平衡。綜合考慮此

結果和可行供應規模，確定供應區域。當預定電氣化區域為地方社區級別時，電廠規劃選址與需求區域之間距離應限制在幾公里以內，即使該區域為鄉鎮級別，該距離也應限制在 20 公里以內。

第三章 農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估

本章說明工作項目二：「農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估」之預定進行方式跟預期內容，3.1 節說明工作項目二(一)：「野溪集水區近年地貌變化評估」，3.2 節說明工作項目二(二)：「野溪集水區近年雨量流量分析」，3.3 節說明工作項目二(三)：「小水力發電量評估」。

第一節 野溪集水區近年地貌變化評估

一、分析理論說明

本研究探討山坡地農村小水力發電潛勢，因此先以圖 3-1-1 說明研究可能會涉及區域與相對位置。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(如圖 3-1-1 黑線區域)，這兩個山坡地村落內溪流共有三條，流經明德村境內為郡坑溪，郡坑溪出口剛好在明德村與信義村交界處，郡坑溪匯入陳有蘭溪位置在信義橋，此處仍在明德村境內。而流經豐丘村溪流則有兩條，包含十八重溪與郡大溪，十八重溪匯入陳有蘭溪位置在十八重溪橋，此處仍在豐丘村境內；而郡大溪則流經豐丘村上游，且由北方匯入濁水溪，匯入點已經在南投縣仁愛鄉，因此不列入本研究分析野溪範圍。

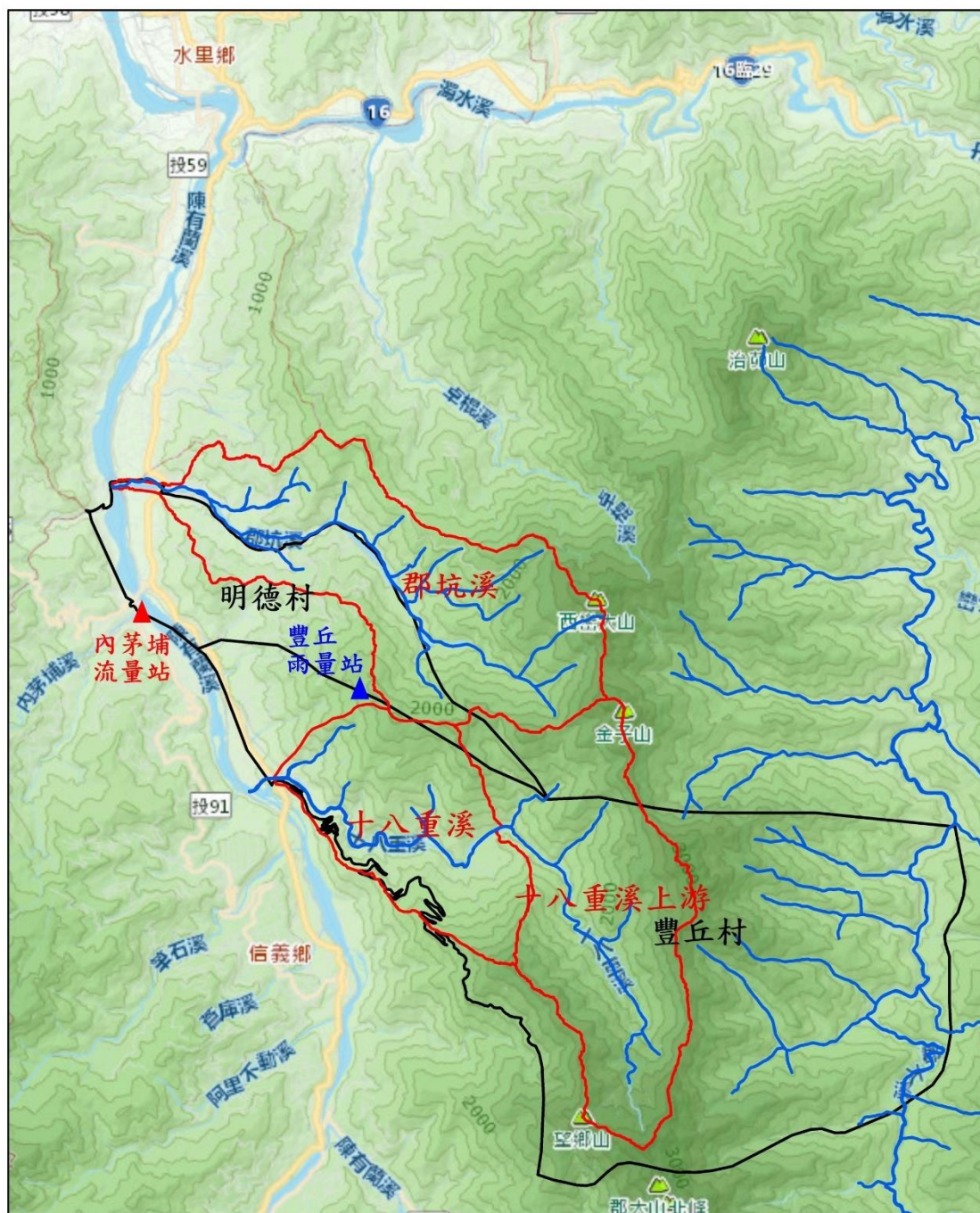


圖 3-1-1 本研究涉及區域與相對位置

山坡地農村區域內野溪流量多寡是山坡地農村能否發展小水力發電關鍵因素，野溪流量則跟該集水區內近年地貌變化也有絕對關係，也代表集水區內地貌能否在雨季降雨期間更涵養水分，並在旱季

期間由地下水位產生補助水量至野溪，此過程是山坡地農村發展小水力發電能有多少效益關鍵。

本研究所採用鄰近流量站為內茅埔站水位流量站，本研究採用雨量站則為豐丘雨量站。而若以農村發展與水土保持署公告 839 子集水區分佈，則明德村與豐丘村涉及子集水區分別為郡坑溪子集水區、十八重溪子集水區與十八重溪上游子集水區。

本研究挑選在郡坑溪與十八重溪治理界點上游野溪區域進行地貌資料評估，地貌變化分析包含進行 NDVI 與土地利用種類分析，NDVI 資料將採用遙測影像(由 Landsat 8 或 MODIS 或 Sentinel 2 影像資料擇一)進行，土地利用變化則採用 Dynamic World 雲端資料庫資料進行分析，分析時間皆為最近 10 年(原訂為 2013 年至 2022 年，由於 2024 年衛星影像已可取得，因此本研究修改為 2015 年至 2024 年)，針對此兩野溪集水區進行每年 NDVI 分佈與土地利用種類變遷分佈。

NDVI 資料可以呈現集水區內植生茂密度變化，在 Aquino et al.(2018)年研究中提出根據 NDVI 量值評估植生茂密度變化表，如表 3-1-1 所示。本研究將會針對探討集水區進行長期 NDVI 分析，評估該集水區內植生茂密度歷年變化情況。

表 3-1-1 NDVI 各量值等級與植生茂密度說明(Aquino et al., 2018)

NDVI 值	植生茂密度	NDVI 值	植生茂密度
≤ 0	裸露土壤、非植生、水體	0.4 至 0.6	中等偏低
0 至 0.2	非常低	0.6 至 0.8	中等偏高
0.2 至 0.4	低	0.8 至 1.0	高

集水區土地利用變化評估也是判斷集水區保水地貌差異分析方法，由於台灣在土地利用圖層更新並未達到每年更新，因此要評估集水區內歷年土地利用變化，需引用衛星影像資源進行後續分析。Dynamic World 雲端資料庫是由 Google 和與世界資源研究所(World Resource institute)合作建立開放數據庫，透過 Google 地球引擎(Google Earth Engine)和 AI 人工智慧平台，能提供解析度 10 公尺全球地表數據。在 AI 人工智慧和雲端演算技術下，Dynamic World 雲端資料庫可針對衛星雲圖中一個像素(面積約 100 平方公尺)土地範圍，分析土地是否包含水、樹木、草、農作物、灌木、被淹沒植物、建築物、荒地或冰雪等，以這 9 種地表狀態進行土地分類。

二、郡坑溪與十八重溪集水區分析結果說明

圖 3-1-2 至圖 3-1-4 為郡坑溪與十八重溪集水區在 2015 年至 2024 年 NDVI 值分佈情況，表 3-1-2 則為最近 10 年郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈數據表。

表 3-1-2 郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈數據

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。

以兩個集水區歷年 NDVI 值演變來看，在 2015 年至 2024 年間，僅 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。

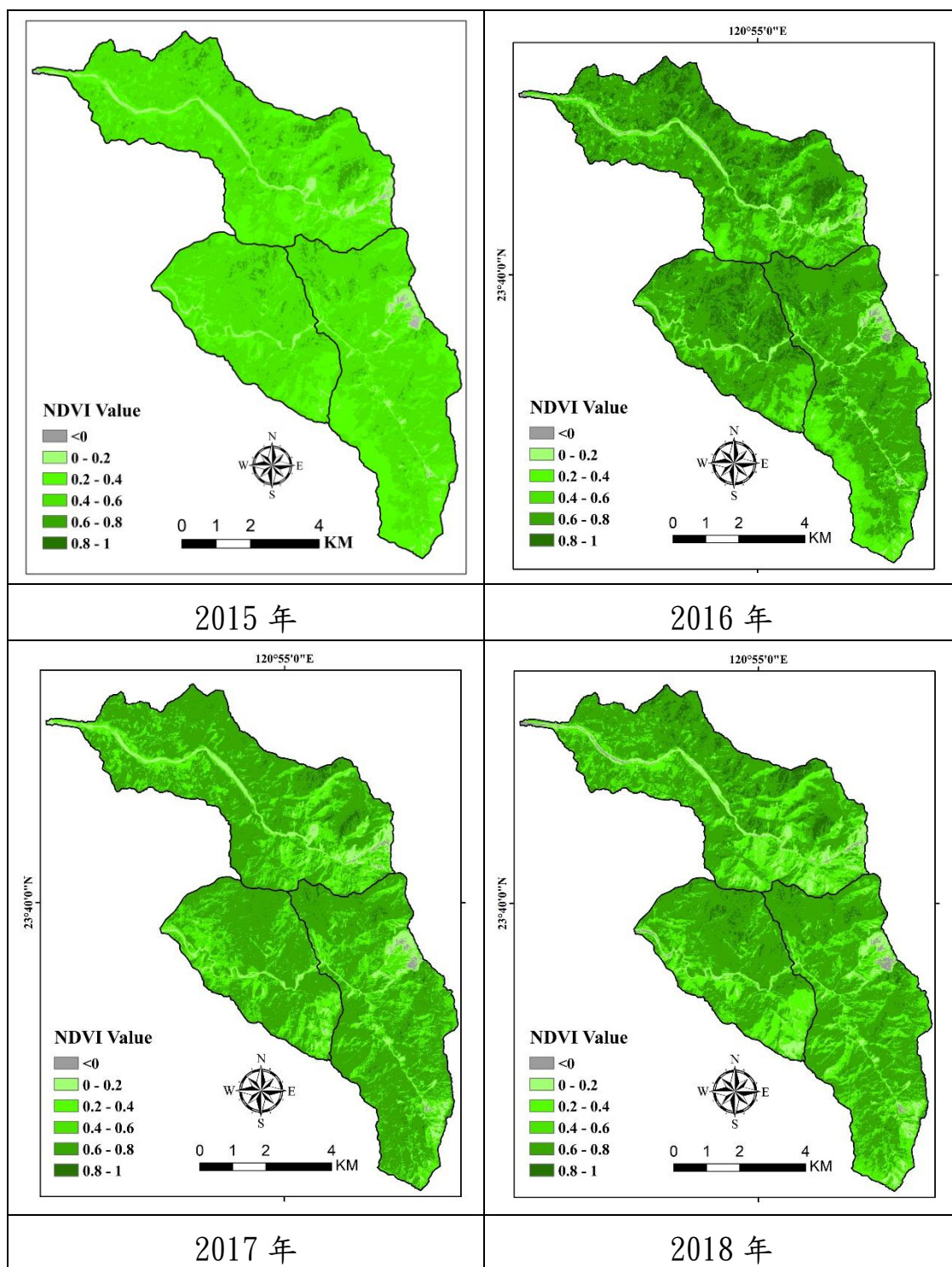


圖 3-1-2 郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈情況

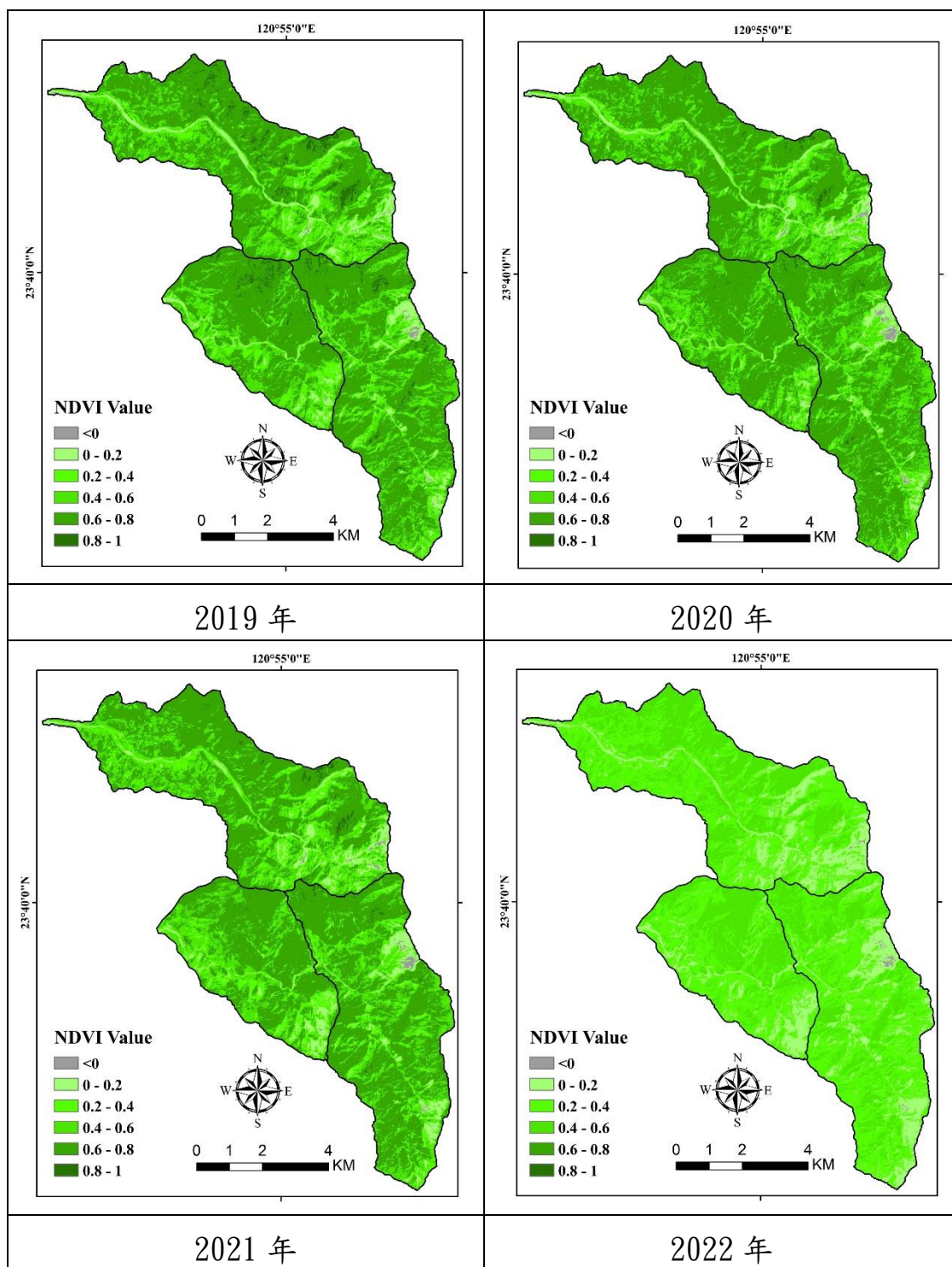


圖 3-1-3 郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈情況

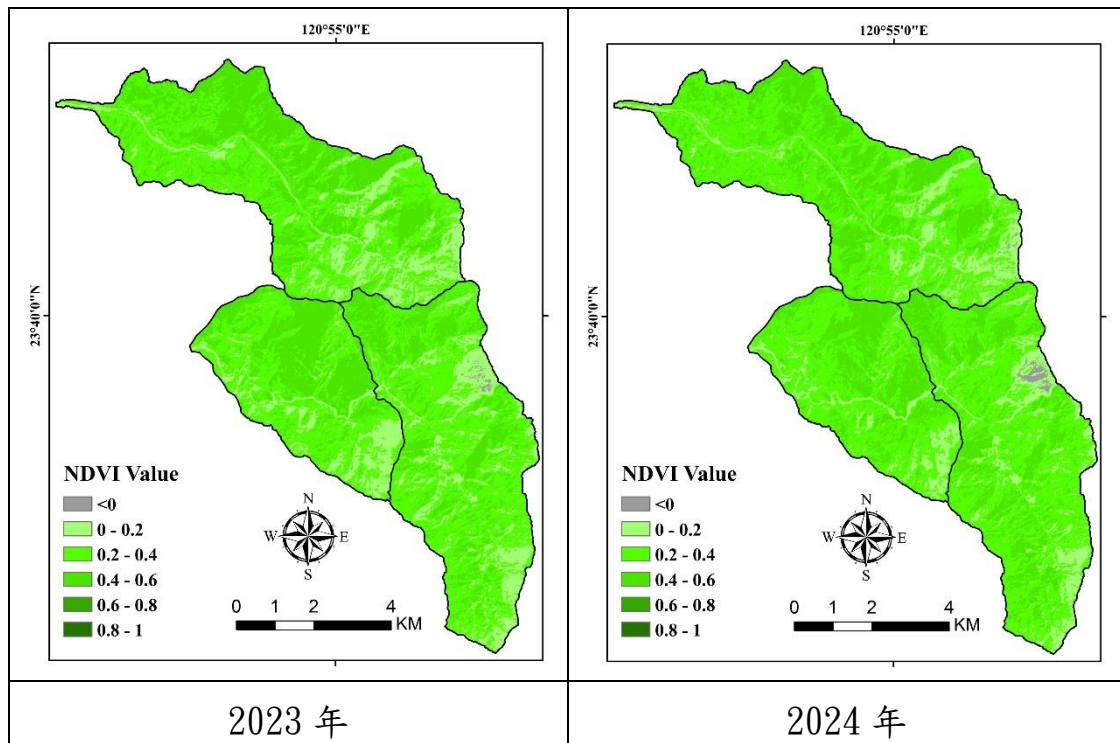


圖 3-1-4 郡坑溪與十八重溪集水區 NDVI 值分佈情況

在 2015 年至 2020 年期間，集水區內都有超過 55% 以上面積 NDVI 值落在 0.6 以上，代表普遍植生茂密度是中等偏高，但在 2021 年起有明顯 NDVI 值下降情況，且由原本 NDVI 值介於 0.6 至 0.8 之間超過 50% 降到 NDVI 值介於 0.2 至 0.4 之間超過 50%，這也代表由 2022 年至 2024 年間，集水區多數面積 NDVI 值所反應植生茂密度降到低情況。

NDVI 值反應植生茂密度，而植生茂密度在小水力發電上所反應是降雨逕流關係，尤其是植生在能夠降低豪雨期間能夠降低地表逕流量與河川洪水量，並在旱季期間能增加出滲量補助河川水位角色。由

2015 年至 2024 年 NDVI 資料分析而言，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。而流量在時間上分佈越走向雨季集中與旱季乾涸現象話，則會越不利小水力發電設置。

本研究使用 Dynamic World 雲端資料庫所收集衛星影像分析歷年土地利用分布情況。本研究將研究年份調整為 2015 年至 2024 年，共 10 個年份。圖 3-1-5 至圖 3-1-7 分別為南投縣郡坑溪與十八重溪集水區從 2015 年至 2024 年土地利用分布，表 3-1-3 則為南投縣郡坑溪與十八重溪集水區從 2016 年至 2024 年土地利用分佈數據。

以歷年土地利用分佈而言，喬木都佔全集水區 89.7%以上，灌木則佔約 1.2%至 3.4%之間，整體而言，集水區土地利用型態仍以喬木與灌木為主。在人為開發上，歷年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，兩項累計都未達 3%，人為開發在空間上都聚集於集水區下游位置，因此可認定在郡坑溪與十八重溪集水區人為開發對於全集水區土地利用分佈影響不到 3%。

土地利用種類分析對小水力發電影響仍在於植生對降雨逕流影響，若人為開發佔據較多面積，則會影響野溪流量在雨季與旱季分佈情況。但以目前郡坑溪與十八重溪集水區而言，人為開發對野溪流量影響較不明顯。

表 3-1-3 郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分類

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。

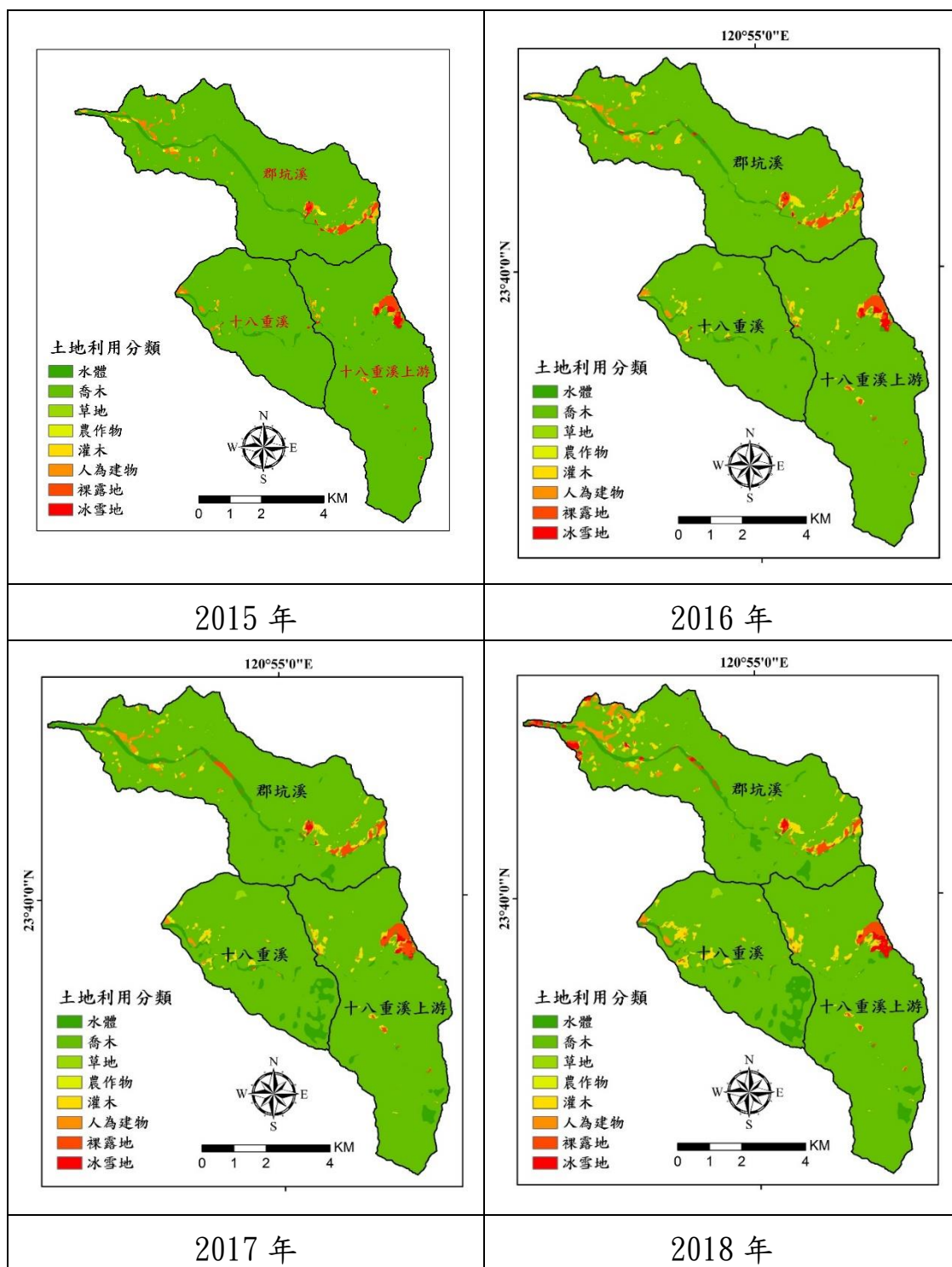


圖 3-1-5 郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分佈

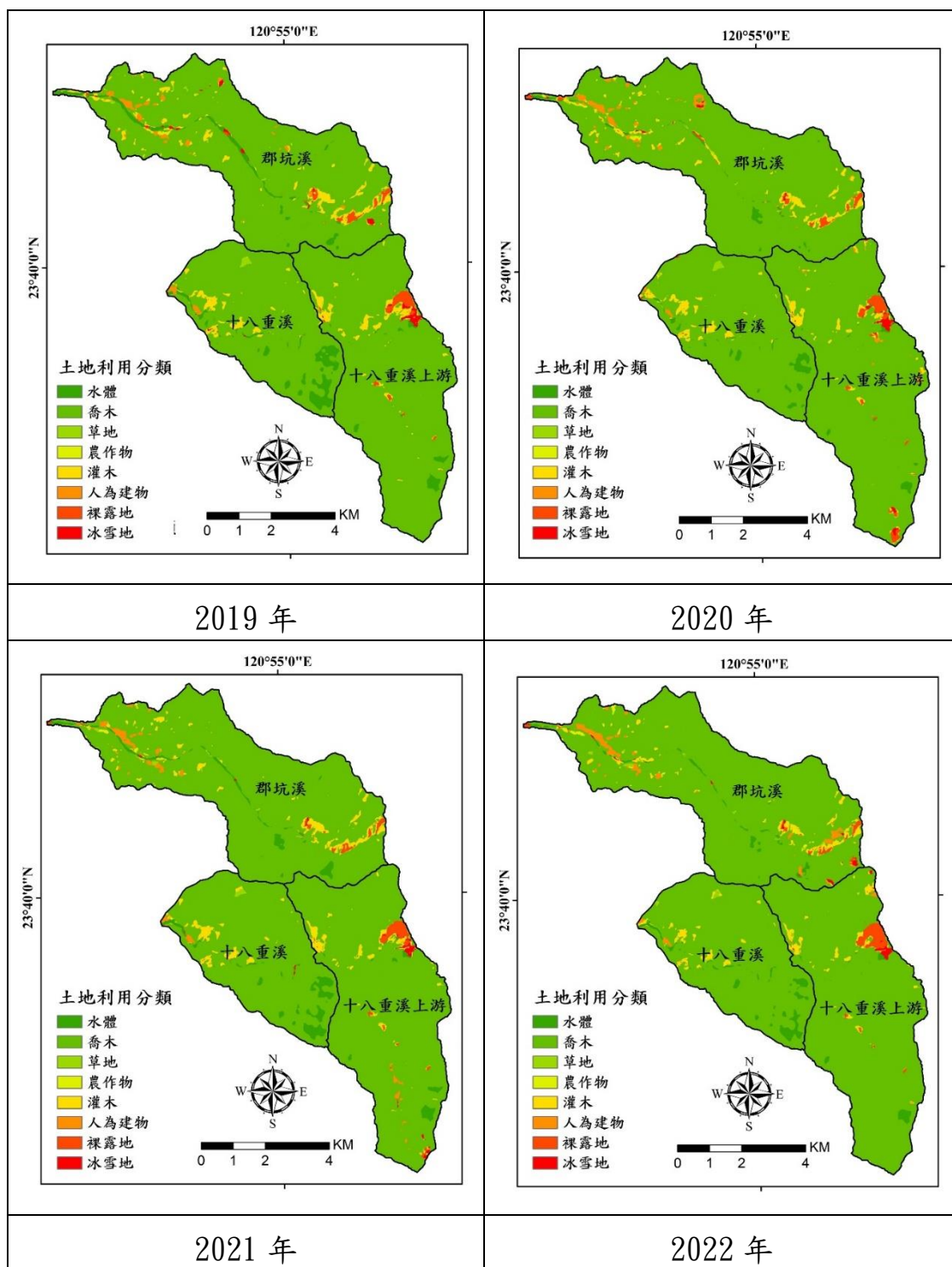


圖 3-1-6 郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分佈

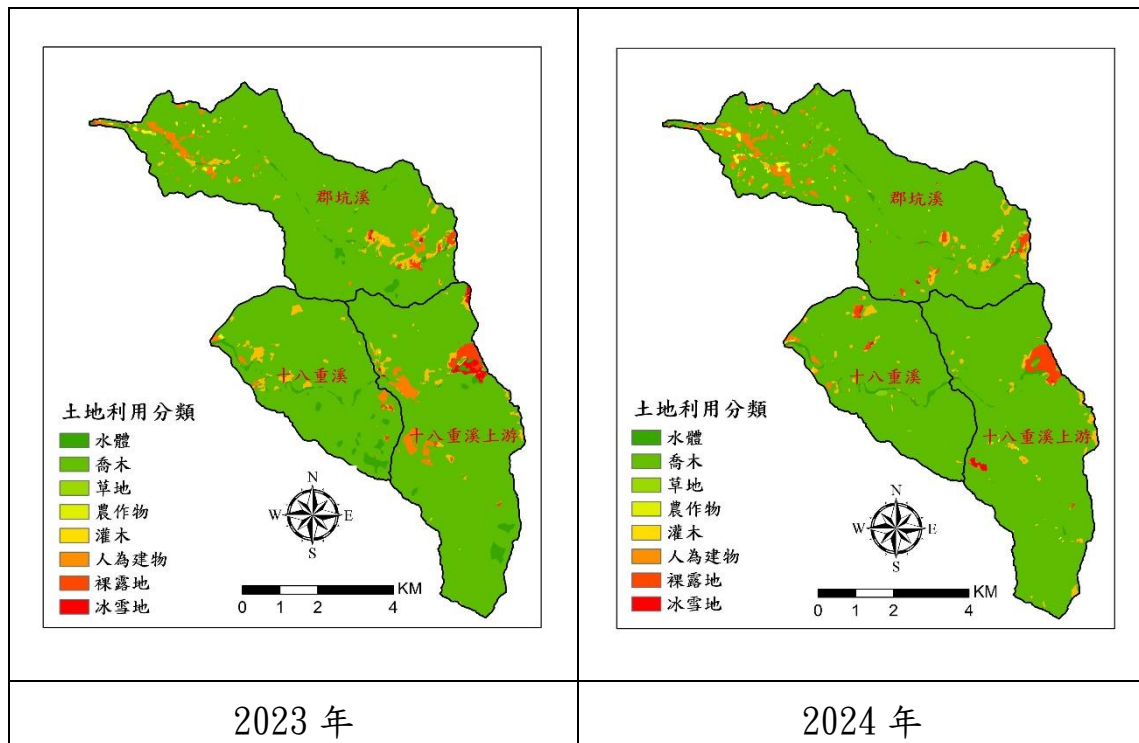


圖 3-1-7 郡坑溪與十八重溪集水區歷年土地利用分佈

第二節 野溪集水區近年雨量流量分析

集水區降雨逕流關係是推算山坡地農村發展小水力發電關鍵，從近年來集水區內降雨與野溪流量關係便可瞭解該地區發展小水力發電可行性。本研究在郡坑溪集水區與十八重坑集水區雨量分析上，以集水區鄰近豐丘雨量站進行長期降雨特性分析，但因後續氣候變遷分析會用到和社雨量站，因此本研究增加和社雨量站為分析點位，降雨資料分析時間為 2013 年至 2022 年共 10 年。

表 3-2-1 為豐丘雨量站在 2013 年至 2022 年月降雨資料，可歸納出幾點結論：

- 一、豐丘雨量站在 2013 年至 2022 年間年降雨量介於 1280.5mm 至 2416.5mm 之間(2015 年最後三個月缺資料，因此不列入估算)，這 10 年平均年降雨量約為 1858.3mm。
- 二、若將雨季定義為每年 5 月 1 日至 10 月 31 日之間，則雨季降雨量佔年降雨量百分比則介於 64.2%至 91.7%之間，這 10 年平均雨季降雨量佔年降雨量百分比約為 81.2%。
- 三、若以十年內各月平均降雨量，則五月至八月是降雨最豐沛月份，平均分別降下 312.9mm、323.8mm、299.9mm 與 378.2mm。2017 年 6 月月降雨量 909.5mm 則為這十年最高月降雨量。

表 3-2-1 豐丘雨量站 2013 年至 2022 年降雨資料表

年	2013	2014	2015	2016	2017
1 月	19	0	22	248	1.5
2 月	1	46	10.5	37.5	2.5
3 月	30.5	81	20.5	170.5	41.5
4 月	322	42.5	52	175.5	230.5
5 月	448	406.5	387.5	135	219
6 月	63	372	32	384.5	909.5
7 月	566.5	341	164.5	97	600.5
8 月	611.5	246.5	386	135	145.5
9 月	165.5	55	41	496.5	92.5
10 月	13.5	0	缺	79.5	95
11 月	31.5	11.5	缺	84	58.5
12 月	72.5	84	缺	25	20
年降雨量	2344.5	1686.0	1116.0	2068.0	2416.5
雨季佔比(%)	79.7	84.3	90.6	64.2	85.3
年	2018	2019	2020	2021	2022
1 月	146	18.5	16	12	73.5
2 月	71	3.5	12	26	135
3 月	44.5	155	69	14	101.5
4 月	94.5	99	78.5	46	58
5 月	78.5	650	406.5	89.5	308
6 月	339.5	449	65	445.5	177.5
7 月	374.5	127	229	375	123.5
8 月	553	683	272	489.5	260
9 月	126.5	74.5	46.5	147.5	250
10 月	44	22.5	24	56	61.5

11 月	22.5	0	13	27.5	28
12 月	0	127	49	19.5	43
年降雨量	1894.5	2409.0	1280.5	1748.0	1619.5
雨季佔比(%)	80.0	83.3	81.5	91.7	72.9

表 3-2-2 為和社雨量站在 2013 年至 2022 年月降雨資料，可歸納出幾點結論：

一、和社雨量站在 2013 年至 2022 年間年降雨量介於 1109.0 mm 至 2600.5 mm 之間(2015 年有缺資料，不列入估算)，這 10 年平均年降雨量約為 1772.7 mm。

二、雨季降雨量佔年降雨量百分比則介於 63.5%至 91.1%之間，這 10 年平均雨季降雨量佔年降雨量百分比約為 80.7%。

三、若以十年內各月平均降雨量，則五月至八月是降雨最豐沛月份，平均分別降下 308.0 mm、329.1 mm、274.8 mm 與 330.6 mm。2017 年 6 月月降雨量 1222.5 mm 則為這十年最高月降雨量。

表 3-2-2 和社雨量站 2013 年至 2022 年降雨資料表

年	2013	2014	2015	2016	2017
1 月	13.5	0.0	24.5	192.5	0.5
2 月	2.5	58.5	13.0	41.5	12.0
3 月	36.0	81.0	22.5	203.5	60.5
4 月	327.0	47.0	49.0	178.0	181.0

5 月	527.0	394.0	430.0	131.0	225.5
6 月	80.0	287.5	32.0	368.0	1222.5
7 月	572.0	374.5	146.0	108.5	529.0
8 月	691.5	180.0	397.5	124.5	94.5
9 月	204.0	97.0	56.5	481.0	50.5
10 月	9.0	3.5	缺	66.5	84.0
11 月	52.0	22.0	缺	92.5	56.5
12 月	86.0	82.0	缺	27.0	18.0
年降雨量	2600.5	1627.0	1171.0	2014.5	2534.5
雨季佔比(%)	80.1	82.1	90.7	63.5	87.0
年	2018	2019	2020	2021	2022
1 月	140.5	23.0	21.0	11.5	67.5
2 月	73.5	3.0	10.5	26.0	143.5
3 月	60.5	162.0	55.5	18.5	81.0
4 月	53.5	110.0	31.5	22.5	51.5
5 月	72.0	598.0	286.0	73.0	343.0
6 月	263.0	464.0	86.0	339.5	148.0
7 月	256.5	121.5	269.0	223.0	148.0
8 月	398.5	520.5	139.5	628.0	131.5
9 月	61.5	81.5	117.0	92.5	229.0
10 月	56.0	22.0	29.5	57.0	41.0
11 月	19.5	0.0	17.5	34.0	41.0
12 月	0.5	98.5	46.0	26.0	34.5
年降雨量	1455.5	2204.0	1109.0	1551.5	1459.5
雨季佔比(%)	76.1	82.0	83.6	91.1	71.3

在野溪集水區流量分析上，野溪河段並無流量量測站，本研究會以排水面積比率法(Drainage-to-Area Ratio method，後簡稱 DAR)推算野溪流量。排水面積比率法(DAR)優點使用方便，需要數據少，不需要特地開發軟體。本方法用於測量沒有水文站區域流量，並使用鄰近站統計數據估算該區域流量和流量(Dikbas and Yasar, 2020)。

排水面積比率法(DAR)基礎為位於同一流域內河川點位，該河川匯集流量與該河川上游集水區面積成正比。本文以下列公式進行說明，同一集水區內有位於上游流量站 a 與位於下游流量站 b，兩個流量站集水面積則為 A_a 與 A_b 。若點 X_1 位於上游流量站 a 集水範圍內，則可直接使用公式(3-2-1)來換算點 X_1 流量，若點 X_2 位於流量站 a 之下游且流量站 b 之上游，等同夾在兩個流量站之間，則點 X_2 流量要用公式(3-2-2) 來換算。

$$Q_{X1} = \frac{A_{X1}}{A_a} Q_a \quad (3.2.1)$$

$$Q_{X2} = Q_a + \frac{(A_{X2} - A_a)}{(A_b - A_a)} (Q_b - Q_a) \quad (3.2.2)$$

本研究所分析十八重溪集水區位於內茅埔流量站集水範圍內，因此可採用公式(3.2.1)方式估算流量，但郡坑溪集水區則比內茅埔流量站集水範圍更下游，則需引入更下游玉峰橋流量站資料進行分析，且需採用公式(3.2.1)方式來估算。

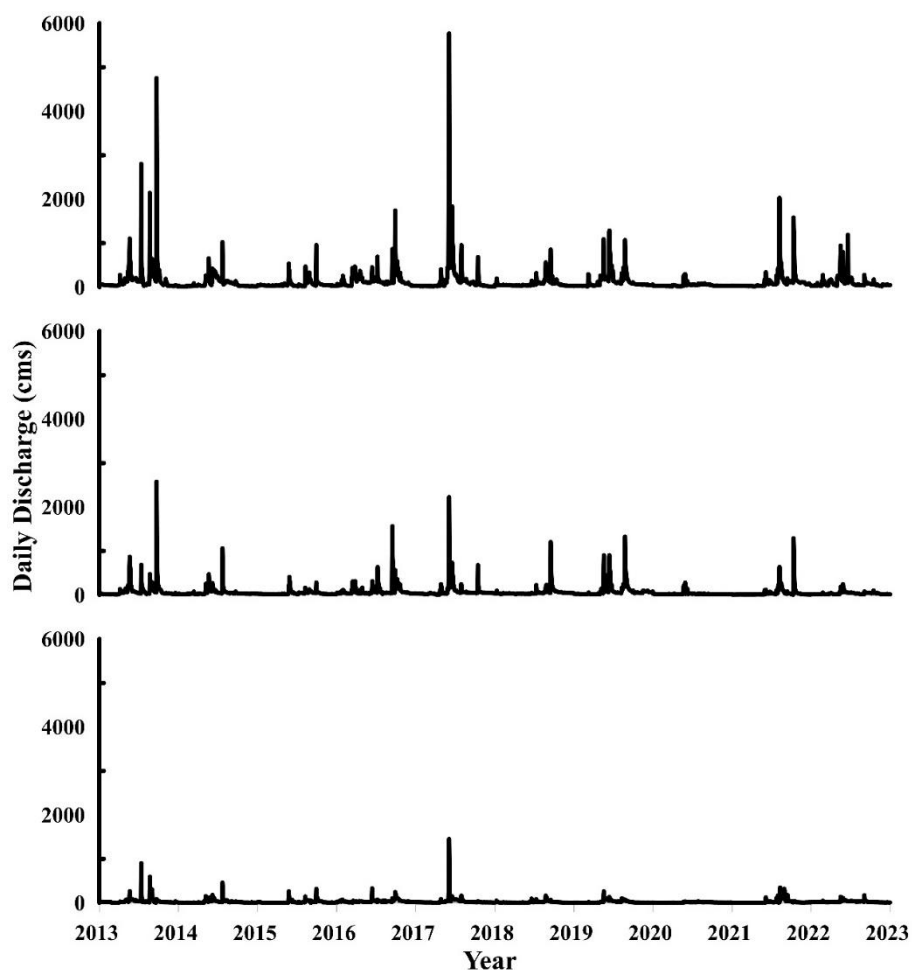


圖 3-2-1 玉峰橋、寶石溪、內茅埔 2013 至 2022 年日流量分佈

上圖為玉峰橋、中圖為寶石橋、下圖為內茅埔流量站。

本研究在估算流量上會應用到集水區面積資訊：內茅埔流量站集水面積為 367.40 km^2 ，十八重溪集水區面積為 43.42 km^2 ，郡坑溪集水區面積為 30.54 km^2 ；在實際估算十八重溪集水區與郡坑溪流量過程：十八重溪集水區位於內茅埔集水區內，因此可直接引用公式(3.2.1)推算，估算過程並無問題。

但郡坑溪集水區流量位於內茅埔集水區下游與位於玉峰橋集水區上游，理當採用公式(3.2.2)估算，但實際推算結果卻發現流量記錄出現不少負值，經本研究追查：原本玉峰橋流量站記錄與寶石橋流量站記錄有部分數據不盡合理，例如在同一天流量記錄內，上游寶石橋流量紀錄高於玉峰橋流量記錄現象，本研究列舉 2018 年流量記錄說明，如圖 3-2-2 與圖 3-2-3 所示，在 2018 年 11 月至 12 月之間，就有多數日期都處於寶石橋流量高於玉峰橋流量紀錄，玉峰橋日流量在 2018 年 12 月介於 23.15 至 33.96cms 之間，但寶石橋日流量在 2018 年 12 月卻介於 40.87 至 47.52 cms 之間。如此流量記錄誤差會導致採用公式(3.2.2)估算郡坑溪集水區出口流量時出現負值。

因此本研究對於郡坑溪集水區流量推算改以公式(3.2.1)，並以內茅埔集水區為主要流量進行推算，本研究認為可如此使用原因有二：一則郡坑溪集水區出口距離內茅埔流量站不到 3 公里之遠，但郡坑溪集水區出口距離玉峰橋流量站卻有 14 公里之遠，二則郡坑溪上游降雨分佈也比較貼近內茅埔集水區或鄰近豐丘雨量站。因此本研究所推算出十八重溪集水區與郡坑溪集水區流量資料如圖 3-2-4 所示。

第三章 農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估

民國 107 年日平均流量 (秒立方公尺)
DAILY MEAN DISCHARGE IN 2018 (C.M.S.)

經辦單位
Sponsoring Agency
經濟部水利署
WRA, MOEA

流域編號 Basin No.	測站編號 Station No.	流域名稱 Basin			河流名稱 Tributary			測站名稱 Station			流域面積Km ² Drainage Area	
1510 290	H063 0125	濁水溪 Zhuoshui River			濁水溪 Zhuoshui River			玉峰橋 YUN-FENG BRIDGE			2098.94	
Month 月 Day 日	一月 Jan.	二月 Feb.	三月 Mar.	四月 Apr.	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug.	九月 Sept.	十月 Oct.	十一月 Nov.	十二月 Dec.
1	50.67	49.99	42.34	38.30	35.27	37.40	55.63	79.80	188.08	89.16	58.61	33.98
2	50.54	46.31	41.48	38.74	35.21	38.78	83.30	83.20	177.42	88.07	61.82	33.63
3	50.46	45.30	41.36	38.45	35.21	42.82	96.13	82.60	168.84	85.18	61.82	32.75
4	50.58	44.25	42.82	38.07	35.00	37.03	74.50	83.19	151.78	87.46	55.72	32.09
5	53.79	42.83	48.83	37.60	34.95	51.57	64.15	89.26	142.87	89.69	51.70	31.74
6	55.09	42.64	46.57	37.60	34.77	50.14	63.62	94.14	141.40	82.57	48.50	31.25
7	71.36	43.31	42.34	38.39	35.03	46.84	65.36	83.40	139.87	86.62	47.40	31.48
8	77.98	51.61	42.90	38.63	47.12	47.08	71.33	81.10	142.67	88.73	45.85	31.03
9	171.76	56.29	52.00	37.72	50.62	40.25	58.76	88.54	132.13	87.50	44.15	30.91
10	196.74	53.13	45.41	37.16	54.75	42.17	55.14	80.15	125.27	88.03	41.93	30.99
11	143.74	53.13	42.83	36.87	45.86	49.57	319.14	81.20	124.80	114.66	41.13	30.35
12	88.93	51.47	42.00	45.36	43.16	42.49	198.10	76.20	114.69	171.31	40.50	30.16
13	54.71	44.89	41.59	41.41	41.33	37.94	143.54	73.40	108.38	172.65	40.46	29.94
14	50.71	47.55	40.99	37.22	40.58	36.80	122.97	84.64	104.08	125.73	39.96	29.90
15	48.96	47.29	40.76	37.40	40.73	41.04	111.27	129.33	311.91	111.67	40.04	29.49
16	46.39	46.35	44.55	38.26	40.76	41.36	96.52	131.12	854.44	105.97	40.04	29.26
17	43.91	45.64	41.44	39.45	40.65	56.59	113.55	152.58	206.58	103.82	40.33	28.29
18	42.53	45.15	40.39	38.55	40.54	53.48	103.44	153.58	183.92	95.29	39.75	28.70
19	44.03	43.84	39.32	37.28	39.91	96.90	90.45	169.82	258.96	95.11	39.46	27.95
20	43.50	43.09	37.66	36.75	39.98	147.08	86.45	188.39	251.88	92.14	38.83	27.58
21	42.75	43.13	37.51	36.73	40.31	115.50	86.55	180.92	258.96	87.08	38.17	27.28
22	46.13	44.61	38.54	36.61	40.39	91.67	95.79	160.26	258.02	75.80	36.88	27.05
23	46.99	53.29	38.18	40.72	39.68	84.18	112.86	166.17	255.21	69.60	35.92	26.56
24	45.94	46.13	38.21	44.35	38.59	67.19	98.57	561.73	73.07	63.98	35.38	26.83
25	45.15	43.58	37.69	40.12	39.50	60.01	107.83	334.46	76.27	61.58	35.33	26.83
26	44.55	42.71	37.60	38.22	38.95	54.88	93.36	333.54	91.30	60.01	37.29	26.41
27	44.85	42.56	37.69	37.67	38.15	52.38	93.05	321.96	106.12	56.98	38.04	25.89
28	44.78	42.41	37.92	36.78	37.98	49.08	92.81	306.73	107.08	54.82	39.17	25.03
29	45.79		37.98	36.00	38.27	48.46	102.22	292.29	109.39	53.20	37.04	24.35
30	46.69		38.45	35.18	38.15	49.59	88.71	263.10	90.70	51.60	34.67	23.79
31	45.34		38.65		38.18		84.60	198.67		52.06		23.15
上旬平均 1 st 10-day	82.90	47.57	44.60	38.07	39.79	43.41	68.79	84.54	150.83	87.30	51.75	31.98
中旬平均 2 nd 10-day	60.74	46.84	41.15	38.86	41.35	60.32	138.54	124.03	251.96	118.84	40.05	29.16
下旬平均 3 rd 10-day	45.36	44.80	38.04	38.24	38.92	67.29	96.03	283.62	142.61	62.43	36.79	25.74
月平均 Mo. Avg	63.00	46.40	41.26	38.39	40.02	57.01	101.12	164.06	181.80	89.52	42.86	28.96
年度統計 Annual Summary												
平均流量 Average Discharge		年逕流量 Annual Runoff(cms-day)		最大瞬間流量 Max. Peak Discharge			最大日平均 Max. Daily			最小日平均 Min. Daily		
74.89		27333.10		1605.00 2018/9/16 上午04:00:00			854.44 (2018/9/16)			23.15 (2018/12/31)		
歷年統計資料(自1994年至2018年,統計年數:25) Statistics For Recorded Years(From 1994 To 2018,Recorded Years:25)												
月平均 Mo. Avg	33.19	33.74	44.22	50.71	98.17	213.44	165.33	233.67	192.11	122.91	62.08	43.68
月最大平均 Mo. Avg Max	73.46	85.46	199.03	208.61	346.52	1179.56	582.16	792.54	699.45	347.10	162.33	162.93
	2016	1998	2016	2016	2013	2017	2004	2009	2008	2007	2011	2007
月最小平均 Mo. Avg Min	15.22	12.10	10.43	20.07	22.85	37.34	31.00	47.79	49.90	29.24	19.32	14.58
	1996	1996	1996	1994	2003	2004	2015	2003	2002	1995	1995	2017
平均流量 Avg. Annual R.		最大年平均 Max. Annual		最小年平均 Min. Annual		最大瞬間流量 Max. Peak Discharge			最大日平均 Max. Daily		最小日平均 Min. Daily	
110.14		176.37 (2017)		51.12 (2003)		12000.00@ 2001/7/30 上午12:00:00			7884.90@ (2009/8/9)		1.80@ (2008/7/5)	

圖 3-2-2 玉峰橋 2018 年流量記錄

第三章 農村內野溪區域發展小水力發電方式及發電量評估

民國 107 年 日 平 均 流 量 (秒 立 方 公 尺)
DAILY MEAN DISCHARGE IN 2018 (C.M.S.)

經 辦 單 位
Sponsoring Agency
經濟部水利署
WRA, MOEA

流域編號 Basin No.	測站編號 Station No.	流域名稱 Basin	河流名稱 Tributary	測站名稱 Station	流域面積Km ² Drainage Area							
1510 290	H075 0195	濁水溪 Zhuoshui River	濁水溪 Zhuoshui River	寶石橋 BAO-SHIH BRIDGE	1542.39							
Month Day	一月 Jan.	二月 Feb.	三月 Mar.	四月 Apr.	五月 May	六月 June	七月 July	八月 Aug.	九月 Sept.	十月 Oct.	十一月 Nov.	十二月 Dec.
1	30.45	36.29	35.41	25.11	24.87	23.25	28.38	42.67	92.13	105.23	67.25	47.62
2	30.02	27.34	34.32	24.48	24.46	25.44	33.43	45.15	91.00	98.76	70.08	46.82
3	31.51	25.21	32.78	23.32	24.05	27.40	40.17	45.95	86.60	95.38	70.41	46.90
4	28.69	24.19	31.24	22.01	24.17	23.43	37.14	45.76	74.73	91.73	62.64	47.28
5	28.72	24.02	38.77	20.30	24.10	31.29	32.99	46.22	66.86	87.87	59.64	46.97
6	29.56	23.95	32.87	20.10	23.78	33.35	33.38	45.72	61.77	85.73	58.08	46.71
7	32.00	26.34	34.32	21.36	24.66	27.99	33.87	41.89	58.89	85.40	57.00	45.84
8	31.34	40.26	32.57	20.94	35.35	26.66	37.10	39.93	56.94	85.93	55.44	45.08
9	71.54	43.93	41.77	19.69	34.81	22.91	32.76	44.43	53.79	85.13	54.90	46.52
10	96.31	39.27	29.33	19.15	37.38	22.43	31.37	40.83	51.81	86.12	55.08	45.46
11	67.01	39.37	28.81	18.66	28.59	24.76	224.70	42.72	54.02	89.74	53.36	45.04
12	46.98	35.60	28.75	29.27	26.41	25.09	138.47	39.93	47.54	85.67	52.93	45.00
13	41.87	27.48	29.93	26.71	25.92	23.27	80.60	39.37	44.93	84.13	51.67	44.47
14	41.83	31.60	29.59	24.87	25.28	23.20	66.58	42.77	46.25	79.93	51.71	43.53
15	41.57	31.28	28.91	26.44	25.06	24.51	61.09	54.03	332.64	77.33	52.50	43.94
16	40.17	31.34	29.81	27.38	24.80	23.69	55.95	49.00	1205.94	74.80	51.47	43.04
17	39.17	29.61	28.93	28.87	24.29	27.89	68.18	53.71	902.28	74.00	51.26	43.75
18	37.27	28.42	27.55	27.58	22.79	34.01	59.15	63.51	580.05	71.53	51.19	43.18
19	38.27	27.38	29.30	26.88	22.28	37.12	53.40	83.13	441.63	72.80	52.02	43.24
20	35.79	29.41	29.30	25.91	22.28	48.08	45.99	79.60	319.31	69.27	55.38	42.70
21	30.36	31.42	29.30	25.35	22.91	45.04	51.12	71.13	212.64	65.97	52.17	42.30
22	28.16	33.85	29.90	25.09	23.95	41.21	51.52	64.41	192.74	64.15	51.99	41.95
23	28.63	38.74	29.61	27.33	24.31	37.10	61.47	68.48	210.89	63.30	50.84	41.78
24	26.00	30.59	29.33	26.98	24.14	33.21	52.17	182.60	186.26	62.40	49.82	41.80
25	23.39	33.52	30.30	26.38	24.34	30.36	60.70	157.40	165.28	61.26	49.97	41.40
26	22.40	34.13	30.42	26.27	24.27	28.84	45.91	213.38	155.13	60.66	51.68	41.40
27	21.60	35.37	31.40	26.34	23.49	28.25	42.98	222.46	149.85	60.54	51.57	41.23
28	21.38	35.60	30.94	25.45	24.02	27.08	42.31	233.79	141.51	60.66	52.35	40.97
29	24.36		28.80	25.64	24.00	25.82	44.55	213.09	133.41	60.18	50.88	40.77
30	24.95		27.59	25.72	24.10	26.40	41.85	159.34	122.40	58.80	47.54	40.57
31	22.28		26.49		23.76		42.23	104.51		61.00		40.87
上旬平均 1 st 10-day	41.01	31.08	34.34	21.65	27.76	26.42	34.06	43.86	69.45	90.73	61.05	46.52
中旬平均 2 nd 10-day	42.99	31.15	29.09	26.26	24.77	29.16	85.41	54.78	397.46	77.92	52.35	43.79
下旬平均 3 rd 10-day	24.86	34.15	29.46	26.06	23.94	32.33	48.80	153.69	167.01	61.72	50.88	41.37
月平均 Mo. Avg	36.29	32.13	30.96	24.66	25.49	29.30	56.09	84.11	211.31	76.79	54.76	43.89
年度統計 Annual Summary												
平均流量 Average Discharge	年逕流量 Annual Runoff(cms-day)			最大瞬間流量 Max. Peak Discharge			最大日平均 Max. Daily			最小日平均 Min. Daily		
58.87	21488.70			1385.00 2018/9/16 上午07:00:00			1205.94 (2018/9/16)			18.66 (2018/4/11)		
歷年統計資料(自2004年至2018年,統計年數:15) Statistics For Recorded Years(From 2004 To 2018,Recorded Years:15)												
月平均 Mo. Avg	28.07	24.04	33.36	34.43	74.56	134.94	121.40	159.22	146.47	91.04	41.25	35.00
月最大平均 Mo. Avg Max	51.00 2016	47.23 2016	130.62 2016	81.22 2005	256.80 2013	457.82 2017	343.64 2004	439.08 2009	424.81 2008	233.94 2007	61.56 2007	84.22 2004
月最小平均 Mo. Avg Min	11.05 2004	10.49 2006	10.12 2004	15.52 2011	25.49 2018	22.34 2004	21.46 2007	47.36 2016	44.24 2014	25.56 2004	20.00 2015	18.27 2015
平均流量 Avg. Annual R.	最大年平均 Max. Annual		最小年平均 Min. Annual		最大瞬間流量 Max. Peak Discharge			最大日平均 Max. Daily		最小日平均 Min. Daily		
77.27	122.18 (2005)		39.72 (2015)		4505.00@ 2009/8/9 下午02:00:00			3367.85@ (2009/8/9)		5.49@ (2017/4/10)		

圖 3-2-3 寶石橋 2018 年流量記錄

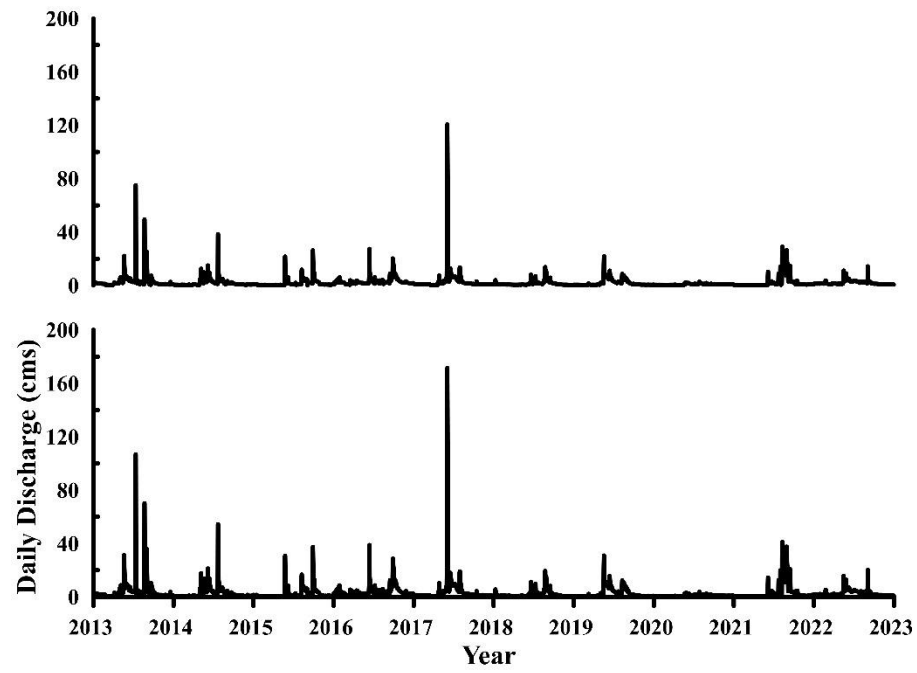


圖 3-2-4 十八重溪與郡坑溪集水區 2013 至 2022 年日流量分佈

上圖為郡坑溪、下圖為十八重溪

第三節 野溪小水力發電量評估

本段分析目的在於根據所得流量資料，找尋野溪河段適合興建小水力發電站位置，依據國際學術刊物所提興建小水力發電形式，提出南投縣信義鄉明德村與豐丘村野溪河段合適興建小水力發電位置、形式、每年可能發電總日數、每年可能總發電量與提供減碳效益。

一、相關理論說明

以國際學術刊物所提興建小水力發電形式而言，根據 Couto et al.(2018)彙整，在河川上興建小水力發電可有四種類型(如圖 3-3-1)：

(一)在槽築壩：如圖 3-3-1a 所示，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。

(二)在槽導流：如圖 3-3-1b 所示，在河道內興建導流工程，並在導流道內放置發電機組。

(三)在槽築壩且分流：如圖 3-3-1c 所示，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，發電後水量流回河川。

(四)在槽築壩且分流至調整池並發電：如圖 3-3-1d 所示，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，發電後水量流回河川。

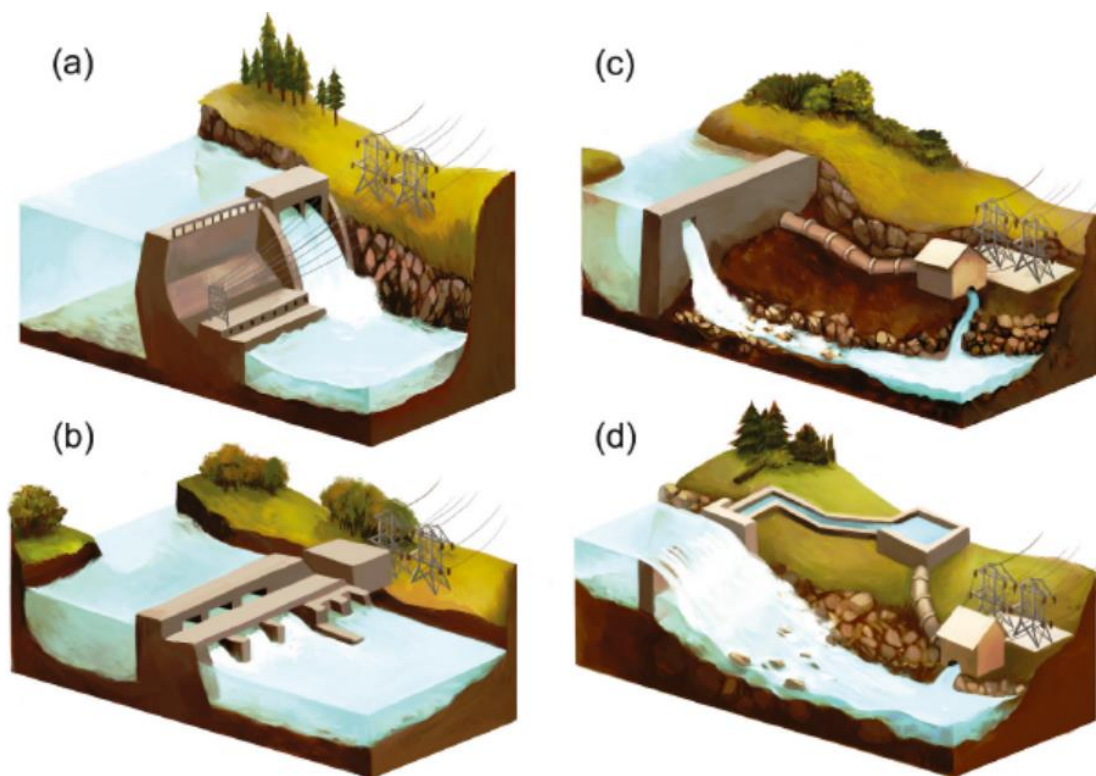


圖 3-3-1 山坡地野溪設置水力發電型態說明(Couto et al., 2018)

以 Couto et al.(2018)提出在河川興建小水力發電四種形式，四種方式都必須在河川中興建壩體或導流工程，而這些工程在台灣過往 10 至 15 年災害治理中，遍佈在多數河川與野溪，因此台灣山坡地農村要在野溪內發展小水力發電，應該先從既存工程尋找合適點位，即便需要興建額外工程，也應該是小規模且對生態影響小方式處理。因此本研究對於郡坑溪集水區與十八重坑集水區找尋合適興建小水力發電場址，會優先以下列兩點考量為主：

(一)場址接近下游或人口聚集區：接近下游代表匯集流量較大，也

接近下游人口密集區，未來發出能源可提供當地人民使用。

(二)以野溪上已具備既有工程點位為主，若野溪並無既有工程存

在，則建議以興建離槽工程為主，降低對河川生態影響。

本研究會依據落差型水力發電評估公式評估可能產生發電效率，公式如下，下述公式估算值要實際換成一般用電常用單位「度」，則需乘上小時數，例如本研究所用流量記錄都是日平均流量，因此要算當天實際發電度數，則需以下列公式推算值乘上一天 24 小時。

$$P = \eta \times g \times Q \times H$$

P 為產生電力(單位 Kwatt，千瓦)

η 為發電機組發電效率(單位為百分比，目前設定為 0.7)

g 為重力加速度(9.81 m/sec^2)

Q 為水力發電機組安置地點流量(單位 m^3/sec)

H 為高程落差(單位 m)

依據上述公式，本研究在估算流量上給予四個設定，如下分述：

(一)取全流量進行發電：完全以發電考量為主，將野溪流量全部用

於水力發電，通常會需要興建匯集水流工程，例如防砂壩體溢洪口，如圖 3-3-1a。

(二)取超過 0.5cms 流量進行發電：本研究保留 0.5cms 為野溪生態

基流量，把超出 0.5cms 流量用於水力發電，此類分流作法通常

需要興建分流離槽式渠槽，將野溪一部份流量導流至離槽式渠槽進行發電，發電後再導回野溪中，如圖 3-3-1c 或 d。

(三)取 1/2 流量進行發電：此作法為將野溪一半流量引為發電，另外一半流量留為野溪流量，降低對當地河川生態影響。此類在工程上作法也是需興建分流離槽式渠槽，如圖 3-3-1c 或 d。

(四)取 1/2 流量且超過 0.5cms 流量進行發電：此作法是結合上述(二)與(三)作法，目的在於保留野溪生態基流量。此類在工程上作法也是需興建分流離槽式渠槽，如圖 3-3-1c 或 d。

(五)流量超過 9cms 以上則設定不發電：水力發電機組都有可發電流量上下限，本研究設定 9cms 是採用多數貫流式水輪機 (crossflow turbine)允許發電流量上限，貫流式水輪機一般可被使用於 9cms 以下流量。以目前郡坑溪與十八重溪集水區流量延時曲線資料而言，每年日流量在 9cms 以上僅約 3%時間，也就是一年僅有約 11 天左右流量達 9cms 以上。這超過 9cms 以上日期通常也都是颱風豪雨發生期間，在本研究所選擇山坡地野溪而言，颱風豪雨期間雖能帶來洪水，但也經常挾帶大量土砂。為水力發電機組安全使用目的，本研究設定在流量超過 9cms 以上則不發電。

在上述公式估算高程落差上，本研究比對當地野溪河床高程落差

給予設定。

本研究對於小水力發電估算效益分為發電潛勢、經濟效益跟減碳效益三種，三種效益評估方式如下：

(一)發電潛勢：依據上述給予四個流量設定：全流量、取超過 0.5cms 流量、取 1/2 流量、取 1/2 流量且超過 0.5cms 流量，先估算該地點由 2013 年至 2022 年共 10 年間可發多少度電，再估算平均年可發電度數。本研究也估算每年不發電日數，不發電日數包含野溪流量為 0 cms 或野溪流量超過 9cms 天數。

(二)經濟效益：本研究以上述年平均發電度數估算三個數據，包含可提供給多少戶用電、發電供民眾使用所節省電費費與發電賣給台電所獲得收益。在估算可提供給多少戶用電上，本研究引用臺灣電力公司於 2024 年 5 月 31 日新聞稿提及：「台灣於 112 年每戶月平均用電約 338 度」(臺灣電力公司，2024)，以此推算每戶年平均用電約為 4056 度。若將水力發電所產生電力供當地居民使用，本研究將依據民生用電電價費率 3.4518 元/度(2024 年 4 月 1 日公告平均電價)，估算每年可讓當地居民省下多少電力費用。若將水力發電所產生電力轉賣給臺灣電力公司作為綠電使用，本研究將以台電購買綠色能源電力費率 4.8936 元/度(備註：引用臺灣電力公司於 2024 年 3 月 5 日公告：小水

力發電：發電效率增訂不及 500 呎級距，躉購費率每度 4.8936

元)，評估一年可讓當地居民回收多少費用。

(三)減碳效益：以小水力發電所產生排碳量，跟目前台灣大量使用燃

煤與燃天然氣發電排碳量進行比較，圖 1-1-1 為各種發電技術排

碳量比較表(呂錫民，2011)，本研究將以此表 1-1-1 數據來估算

不同發電技術總排碳量。水力發電單位排碳量 $24 \text{ gCO}_2/\text{KWH}$ ，

燃煤發電單位排碳量採用燃煤及碳捕捉技術(CCS)200

gCO_2/KWH ，燃天然氣發電單位排碳量採用燃煤及碳捕捉技術

(CCS)170 gCO_2/KWH 。

二、郡坑溪集水區分析結果說明

以郡坑溪集水區而言，人口大多聚集在十甲至信義橋(跨越郡坑溪)這一段區域(如圖 3-3-2 所示)，多數國際文獻都建議山坡地農村水力發電最好採自建自用方式，因此在選址上會建議盡量選距離人口聚集處較近位置，可以降低鋪電相關成本。依據上述條件，本研究先選擇信義橋、忠信集貨場與十甲聚落等三個位置為備選位置。



圖 3-3-2 郡坑溪集水區下游河段人口分佈情況

以全郡坑溪集水區面積約為 30.5 km^2 ，至信義橋、忠信集貨場與十甲聚落集水區面積則為 29.9 km^2 、 28.3 km^2 與 22.9 km^2 ，至信義橋、忠信集貨場與十甲聚落集水區面積約為全郡坑溪集水區面積之 97.7%、92.6%與 75.0%。則可以此面積比率數據套用排水面積比率法 (DAR)，推算到信義橋、忠信集貨場與十甲聚落野溪流量。

若以野溪高程縱剖面分佈，圖 3-3-3 為郡坑溪下游野溪高程縱剖面分佈圖，郡坑溪下游野溪平均河床高程坡降約為 $7.4\text{m}/100\text{m}$ (每 100m 降低高程 7.4m)，而在至信義橋、忠信集貨場與十甲聚落平均河床高程坡降約為 $4.9\text{m}/100\text{m}$ 、 $5.7\text{m}/100\text{m}$ 與 $7.6\text{m}/100\text{m}$ ，郡坑溪下游河段越往下游，河床高程降低幅度越小。

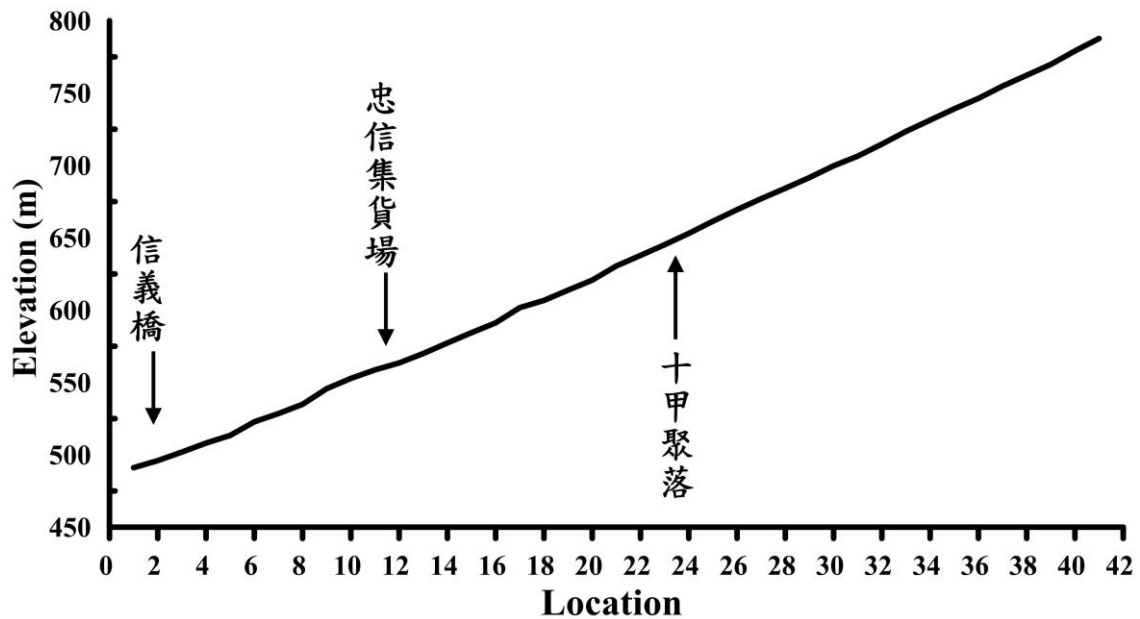


圖 3-3-3 郡坑溪下游野溪高程縱剖面分佈圖

在上述備選點位評估每年發電天數、每年可能總發電量與提供減碳效益評估上，由於小水力發電機組都有設定可發電最大最小流量區間，要判定每年發電天數需先設定可發電最小與最大流量區間，本研究製作集水區流量延時曲線(Flow Duration Curve)，分析每年流量時間分布狀況，再決定適合發電流量區間與對應機組形式。

圖 3-3-4 為郡坑溪以 2013 年至 2022 年日流量記錄所製作流量延時曲線(Flow Duration Curve)，表 3-3-1 則為郡坑溪流量延時曲線分佈數據。從郡坑溪集水區流量延時曲線數據可看出：郡坑溪集水區每年野溪流量大或等於 1cms 以上日期約佔全年 52.88%，但若大或等於 3cms 以上日期約佔全年 17.26%。

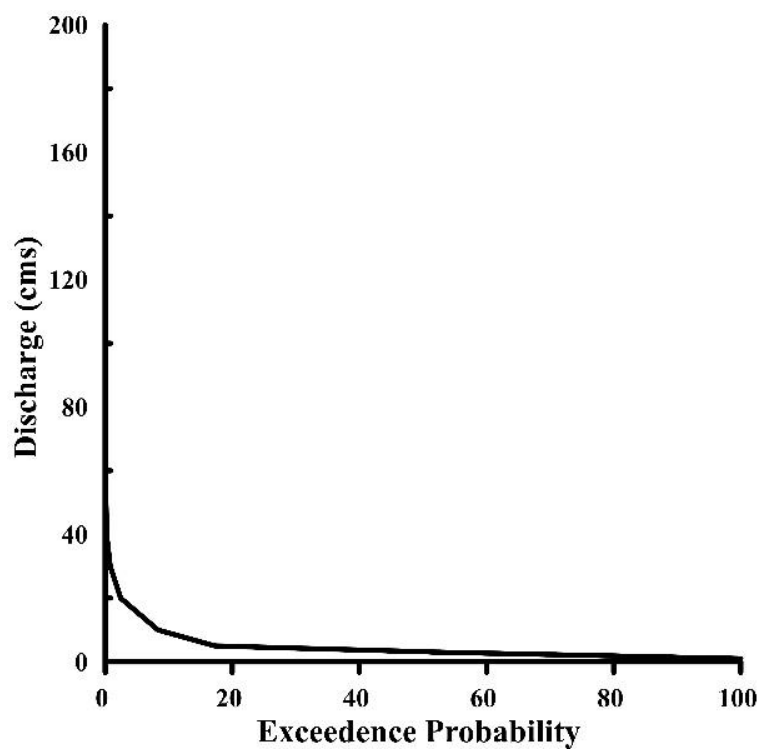


圖 3-3-4 郡坑溪集水區流量延時曲線

表 3-3-1 郡坑溪集水區流量超越機率統計表

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

表 3-3-2 郡坑溪集水區信義橋發電效益評估表

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。

表 3-3-3 郡坑溪集水區忠信集貨場發電效益評估表

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)	514.0	363.5	291.5	163.2
平均年發電度數(萬度)	51.4	36.3	29.2	16.3
10 年未發電天數	94	788	32	1704
估算流量低於 0cms 天數	1	703	1	1678
估算流量高於 9cms 天數	93	85	31	26
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)	126.7	89.6	71.9	40.2
民戶用電節省金(萬元)	177.4	125.5	100.6	56.3
賣給台電回饋金(萬元)	251.5	177.9	142.7	79.8
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)	1233.5	872.3	699.7	391.6
燃煤發電年排碳數(萬 g)	10279.4	7269.4	5830.6	3263.2
燃氣發電年排碳數(萬 g)	8737.5	6179.0	4956.0	2773.7

備註：如表 3-3-2 表備註。

表 3-3-4 郡坑溪集水區十甲聚落發電效益評估表

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)	581.5	387.0	330.2	169.0
平均年發電度數(萬度)	58.1	38.7	33.0	16.9
10 年未發電天數	66	1040	17	2008
估算流量低於 0cms 天數	1	980	1	1994
估算流量高於 9cms 天數	65	60	16	14
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)	143.4	95.4	81.4	41.7
民戶用電節省金(萬元)	200.7	133.6	114.0	58.3
賣給台電回饋金(萬元)	284.6	189.4	161.6	82.7
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)	1395.6	928.7	792.4	405.7
燃煤發電年排碳數(萬 g)	11629.8	7739.4	6603.4	3380.5
燃氣發電年排碳數(萬 g)	9885.3	6578.5	5612.8	2873.4

備註：如表 3-3-2 表備註。

本研究至郡坑溪集水區以無人機拍攝三個備選點位照片如圖

3-3-5 至圖 3-3-7 所示，由現場空拍照片可發現：郡坑溪三個備選點位

目前主流都無既有橫向工程，部分河段則有護岸工程，野溪主流並無
辮狀河相，代表河川流量易於匯集。野溪兩旁都有足夠河岸空間，若
要興建離槽渠槽可在野溪兩旁興建。三個點位鄰近住戶數都在 50 戶
以下，也代表本研究選擇四個情境估算發電量僅有情境 4 稍微不足以
外，其餘三種情境發電量都足夠提供當地農村使用。



圖 3-3-5 郡坑溪集水區信義橋空拍照片



圖 3-3-6 郡坑溪集水區忠信集貨場空拍照片



圖 3-3-7 郡坑溪集水區十甲聚落空拍照片

三、十八重溪集水區分析結果說明

以十八重溪集水區而言，人口大多聚集在十八重溪橋鄰近，更往上野溪河段兩邊幾乎無聚落，僅有道路通過，因此在選址上會建議盡量選距離人口聚集處較近位置，可以降低鋪電相關成本。依據上述條件，本研究先選擇十八重溪橋、道路旁與上游農田聚落等三個位置為備選位置，位置如圖 3-3-8 所示。



圖 3-3-8 十八重溪集水區下游野溪河段分佈圖

以全十八重溪集水區面積約為 43.4 km^2 ，至十八重溪橋、道路旁與農田聚落集水區面積則為 43.3 km^2 、 40.6 km^2 與 40.3 km^2 ，至十八重溪橋、道路旁與農田聚落集水區面積約為全十八重溪集水區面積之

99.7%、93.5%與 92.8%。則可以此面積比率數據套用排水面積比率法(DAR)，推算到十八重溪橋、道路旁與農田聚落野溪流量。

若以野溪高程縱剖面分佈，圖 3-3-9 為十八重溪下游野溪高程縱剖面分佈圖，十八重溪下游野溪平均河床高程坡降約為 5.35 m/100m(每 100m 降低高程 5.35 m)，而在至十八重溪橋、道路旁與上游農田聚落平均河床高程坡降約為 6.3m/100m、5.3m/100m 與 4.9m/100m。

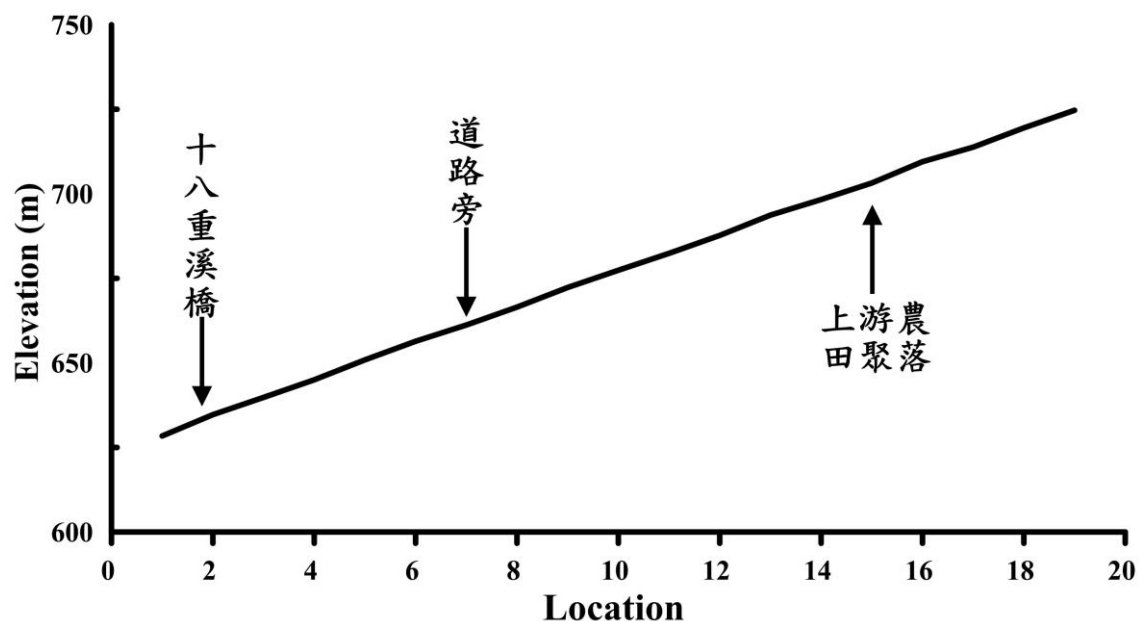


圖 3-3-9 十八重溪下游野溪高程縱剖面分佈圖

圖 3-3-10 為十八重溪集水區以 2013 年至 2022 年日流量記錄所製作流量延時曲線(Flow Duration Curve)，表 3-3-5 則為十八重溪集水區

流量延時曲線分佈數據。從集水區流量延時曲線數據可看出：十八重溪集水區每年野溪流量大或等於 1cms 以上日期約佔全年 67.32%，但若大或等於 3cms 以上日期約佔全年 27.29%。

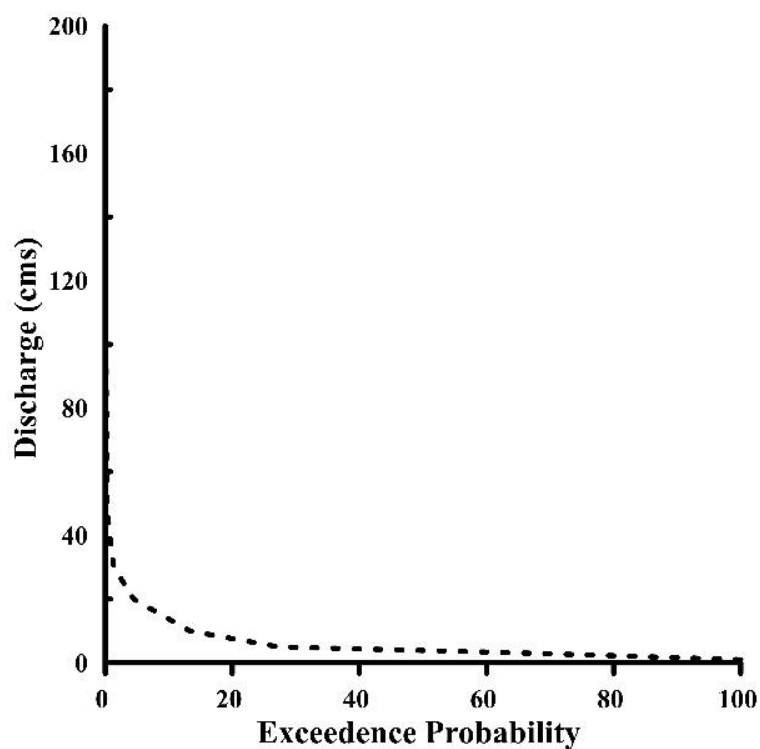


圖 3-3-10 十八重溪集水區流量延時曲線

表 3-3-5 十八重溪集水區流量超越機率統計表

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

表 3-3-6 十八重溪集水區十八重溪橋發電效益評估表

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

備註：如表 3-3-2 表備註。

表 3-3-7 十八重溪集水區道路旁發電效益評估表

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)	605.3	469.4	367.5	235.7
平均年發電度數(萬度)	60.5	46.9	36.7	23.6
10 年未發電天數	181	493	56	1324
估算流量低於 0cms 天數	1	331	1	1275
估算流量高於 9cms 天數	180	162	55	49
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)	149.2	115.7	90.6	58.1
民戶用電節省金(萬元)	208.9	162.0	126.8	81.3
賣給台電回饋金(萬元)	296.2	229.7	179.8	115.3
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)	1452.7	1126.4	881.9	565.6
燃煤發電年排碳數(萬 g)	12105.9	9387.1	7349.6	4713.2
燃氣發電年排碳數(萬 g)	10290.0	7979.0	6247.1	4006.2

備註：如表 3-3-2 表備註。

表 3-3-8 十八重溪集水區上游農田聚落發電效益評估表

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)	556.1	431.2	337.2	216.3
平均年發電度數(萬度)	55.6	43.1	33.7	21.6
10 年未發電天數	180	499	56	1330
估算流量低於 0cms 天數	1	338	1	1282
估算流量高於 9cms 天數	179	161	55	48
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)	137.1	106.3	83.1	53.3
民戶用電節省金(萬元)	192.0	148.8	116.4	74.6
賣給台電回饋金(萬元)	272.2	211.0	165.0	105.8
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)	1334.8	1034.8	809.3	519.0
燃煤發電年排碳數(萬 g)	11122.9	8623.5	6744.0	4325.3
燃氣發電年排碳數(萬 g)	9454.5	7330.0	5732.4	3676.5

備註：如表 3-3-2 表備註。

本研究至十八重溪集水區以無人機拍攝三個備選點位照片如圖

3-3-11 至圖 3-3-13 所示，由現場空拍照片可發現：十八重溪三個備選

點位目前主流都無既有橫向工程，野溪河段土砂淤積量大，部分河段則有護岸工程，在第一個點位十八重溪橋有明顯辮狀河相發展，在第二個與第三個點位主流較為集中。野溪兩旁都有足夠河岸空間，若要興建離槽渠槽可在野溪兩旁興建。三個點位鄰近住戶數都在 50 戶以下，也代表本研究選擇四個情境估算發電量都足夠提供當地農村使用。



圖 3-3-11 十八重溪集水區十八重溪橋空拍照片



圖 3-3-12 十八重溪集水區道路旁空拍照片



圖 3-3-13 十八重溪集水區上游農田聚落空拍照片

第四章 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

本章主要說明工作項目三：「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」之進行方式跟內容，4.1 節主要說明工作項目三(一)：「未來氣候變遷下山投縣信義鄉明德村與豐丘村集水區雨量分析。」，4.2 節主要說明工作項目三(二)：「建構南投縣信義鄉明德村與豐丘田野溪河段流量產出評估方式。」，4.3 節主要說明工作項目三(三)：「小水力發電量評估」。

第一節 未來氣候變遷下山投縣信義鄉明德村與豐丘村集水區雨量分析

一、分析理論說明

郡坑溪集水區與十八重坑溪集水區是南投縣信義鄉明德村與豐丘村區域，以山坡地農村發展小水力發電角色，應該探討南投縣信義鄉明德村與豐丘村兩個區域未來在氣候變遷下可能降雨特性。

政府間氣候變化專門委員會(IPCC)於 2021 年 8 月發布第六次評估報告(AR6)，主要在於提供全世界相關單位對於未來不同氣候變遷情境下所可能出現降雨情況。而原本第六次評估報告降雨資料是屬於大範圍模擬，在經過臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫

(TCCIP)引入並進行降尺度後，即可成為未來日降雨資料。

本研究於臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)下載第六次評估報告(AR6)於濁水溪流域降尺度日降雨資料。由於降尺度日降雨資料是依據不同經緯度給定，例如「經度 121.0 與緯度 24.0 位置，在未來某一年日降雨量預估為多少」，其經緯度間距皆為每 0.05 度，代表約每 5 公里見方區域僅會有一筆未來日降雨預估資料。若要進行過往與未來降雨特性比較，本研究先選定具備長期日降雨資料特定雨量站，並比對該特定雨量站所在經緯度，即可選定特定區域降尺度未來降雨資料進行比對。

依據政府間氣候變化專門委員會(IPCC)於 2021 年 8 月發布第六次評估報告(AR6)所提出未來不同氣候變遷情境下所可能出現降雨情況，本研究選定以郡坑溪集水區與十八重坑溪集水區最接近豐丘雨量站(站號 C1I290，經度 120.8874，緯度 23.6682)與和社雨量站(站號 C1I330，經度 120.8889，緯度 23.5909)為代表，評估過往與未來降雨特性差異比較，分析方式如下：

(一)過往降雨資料以 2000 年至 2023 年日降雨量分析為主，未來降雨資料則以 2024 年至 2050 年、2051 年至 2075 年與 2076 年至 2100 年三個時段為主。

(二)降雨特性分析以年降雨量、雨季降雨百分比與最大月降雨量等三

項參數為代表。

(三)豐丘雨量站未來降雨資料將使用經度 120.90 與緯度 23.65 點位資料為主。和社雨量站未來降雨資料將使用經度 120.90 與緯度 23.60 點位資料為主。

(四)評估在未來氣候變遷情境，本研究以四種情境進行分析，包含 SSP126(溫室氣體排放情境，低強迫路徑)、SSP245(溫室氣體排放情境，中間路徑)、SSP370(溫室氣體排放情境，中高強迫路徑)、SSP585(溫室氣體排放情境，高強迫路徑)。

二、豐丘雨量站過往與未來分析說明

本研究收集豐丘雨量站過往由 2000 年至 2023 年之降雨資料，由 2024 年至 2100 年降雨資料則採用第六次評估報告(AR6)四種氣候變遷情境模擬數據而得。豐丘雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料如圖 4-1-1 所示，數據則如表 4-1-1 與表 4-1-2 所示。

圖 4-1-1 年降雨量分佈圖是採 2000 年至 2023 年實際發生平均年降雨量為基礎，豐丘雨量站在 2000 年至 2023 年平均年降雨量為 1991.8mm，因此每一年年降雨量與平均年降雨量差值即為圖上各年份所顯示正負值，正值(負值)代表該年份年降雨量超過(低於)平均年降雨量，如此更方便讀者辨識未來氣候變遷年降雨量分佈。

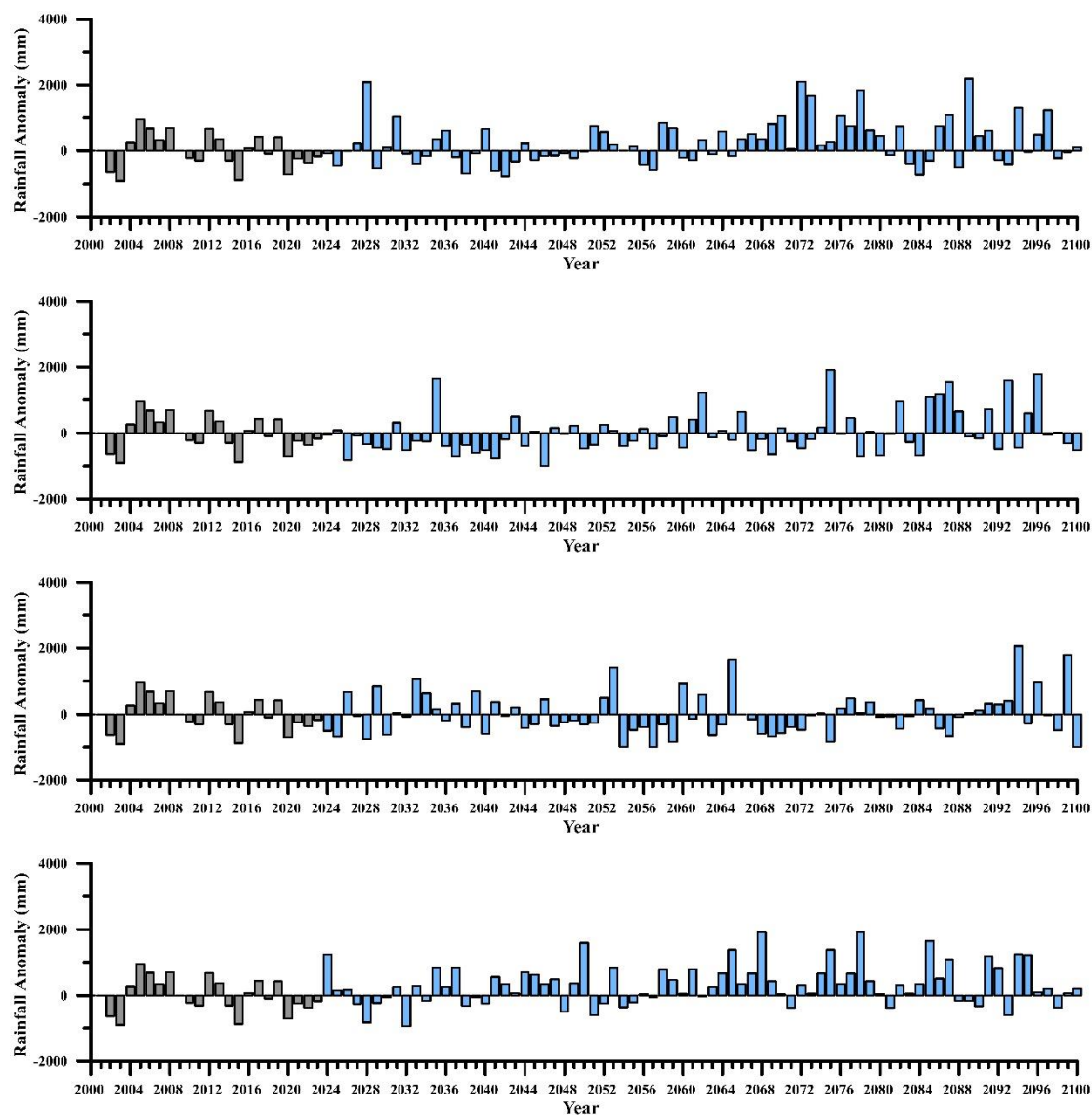


圖 4-1-1 豐丘雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料

由上而下分別為 SSP126、SSP245、SSP370 與 SSP585 情境

根據資料，豐丘雨量站過往與未來降雨特性比較可說明如下：

- (一)以過往與未來平均年降雨量比較，未來四種氣候變遷情境平均年降雨量約為過往 1 至 1.17 倍，有三種氣候變遷情境平均年降雨量都大於過往平均年降雨量；未來四種氣候變遷情境標準偏

差比過往增加約 1.14 至 1.26 倍，這代表未來豐丘雨量站年降雨量起伏加大；在未來四種氣候變遷情境下，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，代表未來年降雨量旱雨年並未明顯下降，但豐雨年確有明顯提升。

表 4-1-1 豐丘雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料

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

表 4-1-2 豐丘雨量站於 2000 年至 2100 年雨季雨量與最大日降雨量

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

(二)以雨季累積降雨量佔年降雨量百分比而言，過往資料平均值與未來四種氣候變遷情境下平均值差異不大，都落在 79.2%至 82.6%之間，但未來雨季累積降雨量佔年降雨量之最大值有明顯提升，最小值也有明顯下降，如此資訊在顯示未來豐丘雨量站降雨會越趨明顯濕旱兩極化現象。

(三)以過往與未來四種氣候變遷情境下最大日降雨量比較而言，未來四種氣候變遷情境下最大日降雨量約為過往 1.18 至 1.38 倍，有明顯提升。

三、和社雨量站過往與未來降雨資料分析

本研究收集和社兩個雨量站過往由 2000 年至 2023 年之降雨資料，由 2023 年至 2100 年降雨資料則採用第六次評估報告(AR6)四種氣候變遷情境模擬數據而得。和社雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料如圖 4-1-2 所示，數據則如表 4-1-3 與表 4-1-4 所示。

圖 4.1.2 之年降雨量分佈圖是採 2000 年至 2023 年實際發生平均年降雨量為基礎，和社雨量站在 2000 年至 2023 年平均年降雨量為 1896.1 mm。

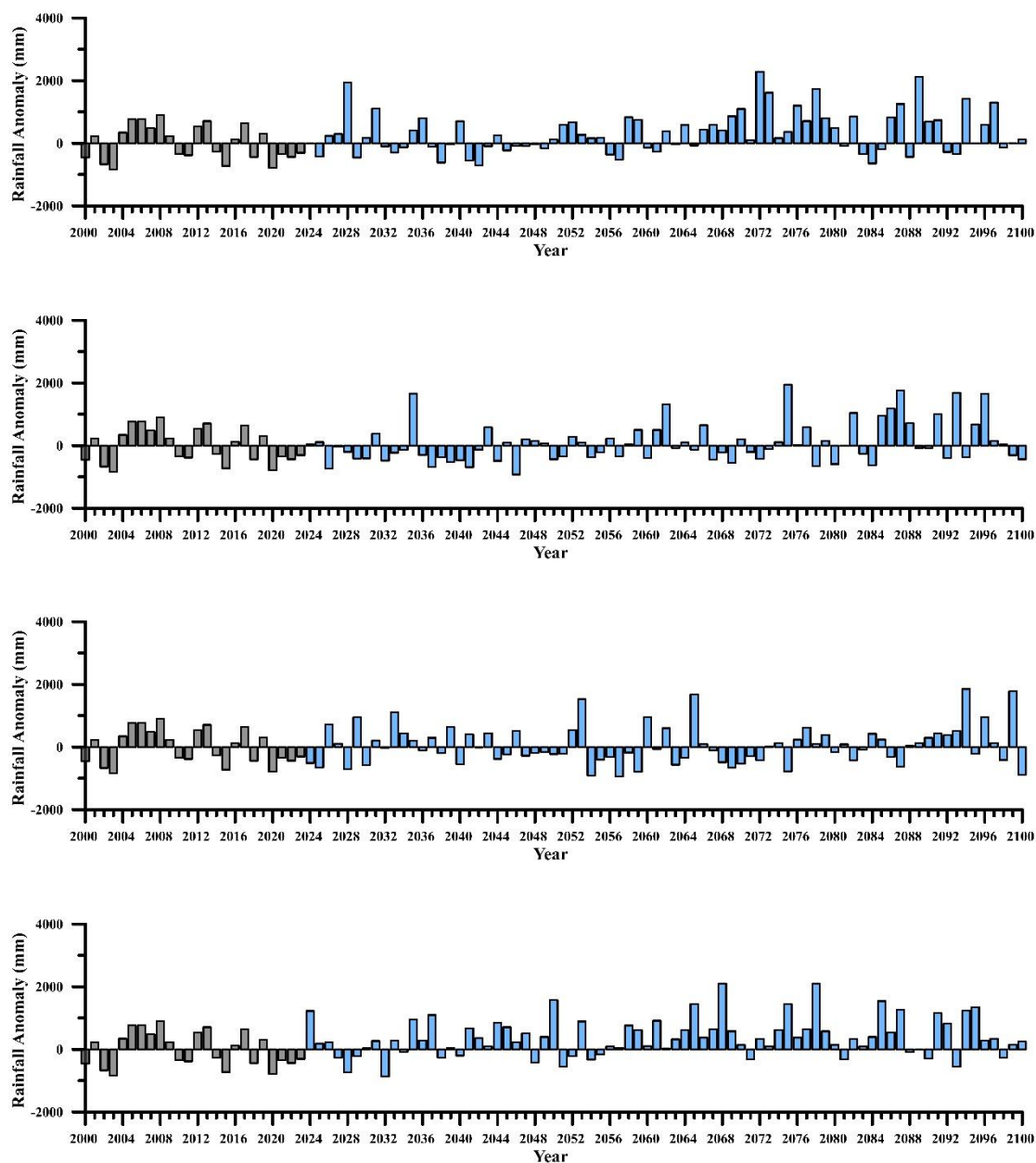


圖 4-1-2 和社雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料

由上而下分別為情境 SSP126、SSP245、SSP370 與 SSP585

表 4-1-3 和社雨量站於 2000 年至 2100 年年降雨資料

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

表 4-1-4 和社雨量站於 2000 年至 2100 年雨季雨量與最大日降雨量

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

根據資料，和社雨量站過往與未來降雨特性比較可說明如下：

(一)以過往與未來平均年降雨量比較，未來四種氣候變遷情境平均

年降雨量約為過往 1.03 至 1.20 倍，明顯看出未來氣候變遷下

年降雨量都會提升；未來四種氣候變遷情境標準偏差比過往增

加約 1.10 至 1.19 倍，這代表未來和社雨量站年降雨量起伏加

大；在未來四種氣候變遷情境下，最大年降雨量約比過往增加 1.34 至 1.49 倍，但最小年降雨量約為過往 0.89 至 1.12 倍，代表未來年降雨量旱雨年並未明顯下降，但豐雨年確有明顯提升。

(二)以雨季累積降雨量佔年降雨量百分比而言，過往資料平均值與未來四種氣候變遷情境下平均值差異不大，都落在 79.0%至 82.5%之間，但未來雨季累積降雨量佔年降雨量之最大值有明顯提升，最小值也有明顯下降，如此資訊在顯示未來豐丘雨量站降雨會越趨明顯濕旱兩極化現象。

(三)以過往與未來四種氣候變遷情境下最大日降雨量比較而言，未來四種氣候變遷情境下最大日降雨量約為過往 1.02 至 1.42 倍，有明顯提升。

第二節 建構南投縣信義鄉明德村與豐丘村野溪河段流量產出評估方式

台灣多數山坡地野溪都有流量時空分佈不均問題，在雨季期間流量偏大，但一旦進入旱季(每年 11 月至隔年 4 月底)，多數野溪流量非常低，甚至毫無流量。這跟當地長期降雨特性相關(請見本研究前述對豐丘與和社雨量站長期分析資料)以外，也跟未來要面對氣候變遷

有明顯關係。一旦小水力發電站設置在一個雨季累積降雨量佔年降雨量偏高，且未來降雨時空不均問題更加嚴重位置，則可能導致該小水力發電站設置不符成本。如何評估未來野溪可能產出流量是決定這個地點設置小水力發電機組，未來是否可能會有足夠效益關鍵。

在政府間氣候變化專門委員會(IPCC)於 2021 年 8 月發布第六次評估報告(AR6)提供未來日降雨量資料，因此如何利用這些日降雨量套入流量評估模式，而成為後續流量產出機制，是本研究在本節探討重點。

為預測南投縣信義鄉明德村與豐丘村野溪河段在未來氣候變遷情境下流量產出，本研究將使用 SWAT 模式(Soil and Water Assessment Tool)進行流量模式建構與預測。利用 SWAT 模式建立集水區流量預測模式並用於未來小水力發電潛勢評估在近年國際上已有多篇研究使用(Orkodjo et al., 2022; Ahialey et al., 2023; Tayyeh and Mohammed, 2024; Waheed et al., 2024; Yang et al., 2024)。

本研究下述分別以郡坑溪集水區與十八重溪集水區各自建構 SWAT 模式過程進行說明。

一、郡坑溪集水區 SWAT 模式建置過程與結果說明

建構 SWAT 模式過程需要數值高程資料(DEM)、土地利用資料、土壤資料、坡度資料與長年降雨資料與流量資料等。本研究於郡坑溪

集水區建構 SWAT 模式過程，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 年降雨量與流量資料為主。

氣候資料上，本研究希望能提供較精準氣候分佈，因此本研究使用四個雨量站，包含豐丘雨量站、和社雨量站、西巒雨量站(站號 C1I310，經度座標：120.8840，緯度座標：23.7545)、新興橋(站號 C1I340，經度座標：120.8687，緯度座標：23.5633)，這四個雨量站都有 2013 年至 2022 年日雨量資料。在建構流量模式後，本研究會用在第三章得出郡坑溪在 2013 年至 2022 年流量資料，進行模式評估與校正。

經本研究採用 SWAT 模式所建構郡坑溪集水區於 2013 年至 2022 年之日流量分佈圖，比對本研究於第三章以排水面積比率法得出日流量分佈圖，如圖 4-2-1 所示，初次模擬準確率約為 62.7%，本研究針對圖 4-2-1 比對結果可彙整幾點說明：一則模擬流量跟日雨量分佈時間比對有吻合，基本上只要日降雨量有起伏，模擬流量就會出現相對起伏；多數低流量預測流量與實際流量差異較小，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。

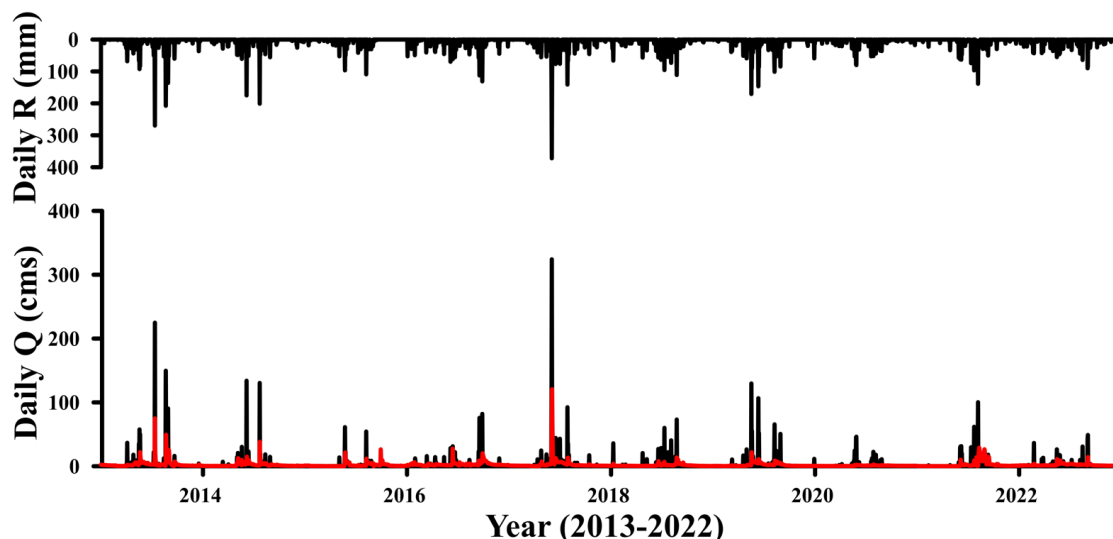


圖 4-2-1 郡坑溪於 2013 至 2022 年實測流量(紅線)與模擬流量
(黑線)比對圖

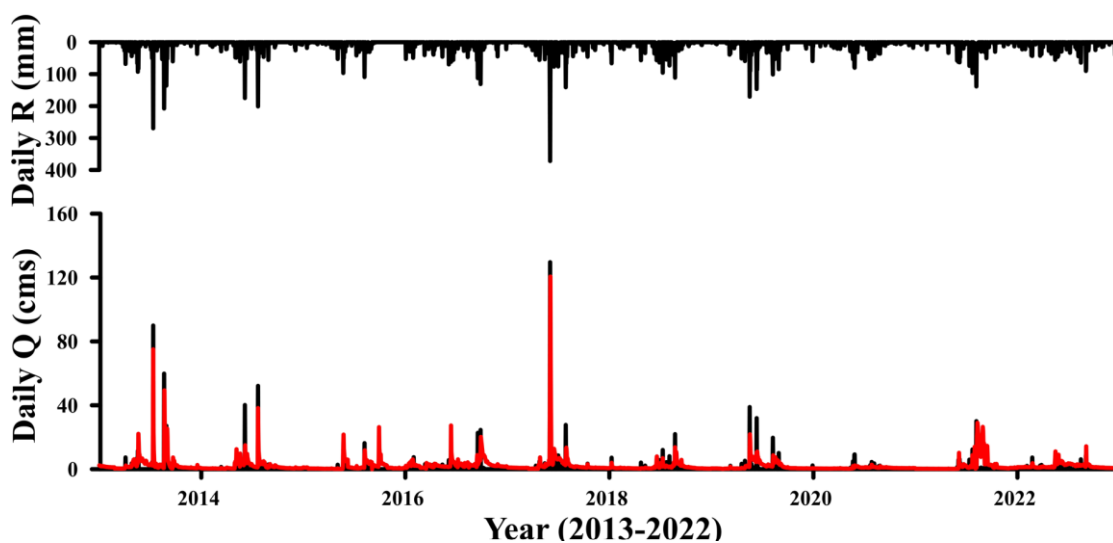


圖 4-2-2 郡坑溪於 2013 至 2022 年實測流量(紅線)與模擬流量
調整後(黑線)比對圖

本研究認為模擬流量與實際流量差異主因：目前輸入圖資(土地利用圖資與土壤圖資)無法反映降雨逕流反映過程，目前本研究所設

定參數是將降雨過度反映在逕流上。

降雨在山坡地陡峭環境易形成地表逕流問題，此問題可經由調整參數並比對模擬結果來得到較佳模擬成果。二則無法反映由地下水位滲出水量，尤其是當集水區鄰近區域都降雨豪雨時，集水區內外地下水位群體提升，就會更佳反映在降雨誘發流量攀升上，所以在本研究比對圖中可看到模擬流量上升幅度不若實際流量來得明顯。

本研究經由參數調數降低降雨逕流起伏量，並經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，重新調整模擬結果比對圖如圖 4-2-2 所示，雖然在幾場豪雨事件尖峰流量仍有些微差異，但多數時間模擬流量與實測流量已經比第一次模擬更接近，此次模擬結果正確率提升至 76.8%。本研究就以此次設定進行後續氣候變遷下降雨逕流模擬。

二、十八重溪集水區 SWAT 模式建置過程與結果說明

十八重溪集水區河川流量評估模式建構過程，仍使用 SWAT 模式進行評估，輸入資料與前述郡坑溪集水區並無太大差異，包含採用 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 年降雨量與流量資料為主。

氣候資料一樣採用豐丘雨量站、和社雨量站、西巒雨量站、新興橋雨量站於 2013 年至 2022 年日雨量資料，並採用在第三章得出十八重溪集水區在 2013 年至 2022 年流量資料，進行模式評估與校正。

經本研究採用 SWAT 模式所建構十八重溪集水區於 2013 年至 2022 年之日流量分佈圖，比對本研究於第三章得出日流量分佈圖，如圖 4-2-3 所示，初次模擬結果正確率約為 64.3%。由於十八重溪與郡坑溪位置相近，因此在使用地質、土地利用與土壤圖資上都相近，也因此前述郡坑溪模擬所出現問題，在十八重溪也出現類似情況，包含模擬模式在反映降雨逕流過程有過大反映地表逕流情況。本研究一樣利用參數調整方式，並依據過往日流量記錄得出十八重溪集水區退水係數約為 0.983，重新調整模擬結果比對圖如圖 4-2-4 所示，一樣可看出流量模擬結果較貼近實測流量數據，但仍有幾場較大豪雨實測流量與模擬結果有明顯差距情況。調整參數後模擬結果正確率提升至 78.4%。本研究也利用此次設定進行後續氣候變遷下降雨逕流模擬。

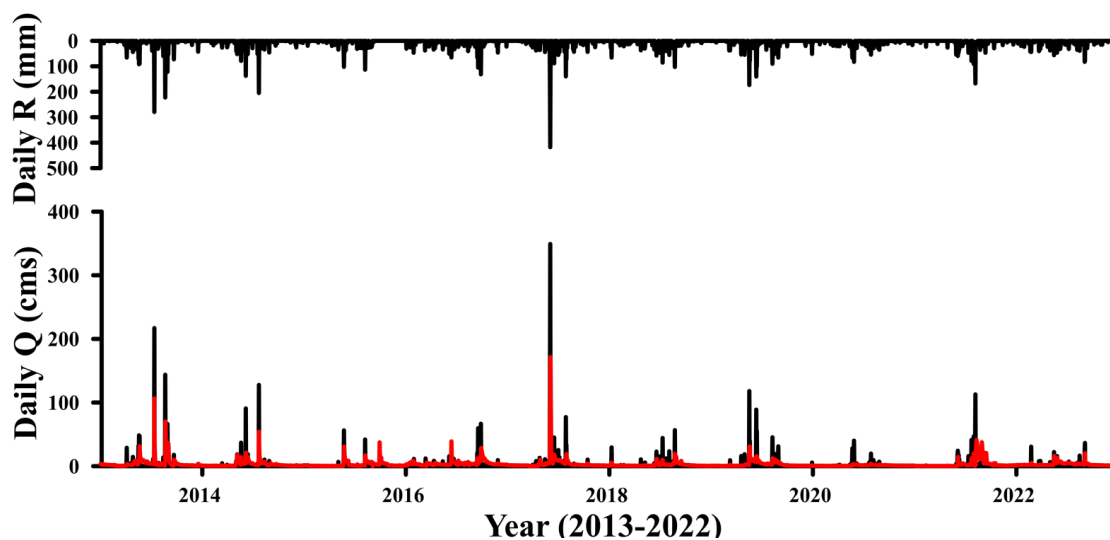


圖 4-2-3 十八重溪於 2013 至 2022 年實測流量(紅線)與模擬流量(黑線)比對圖

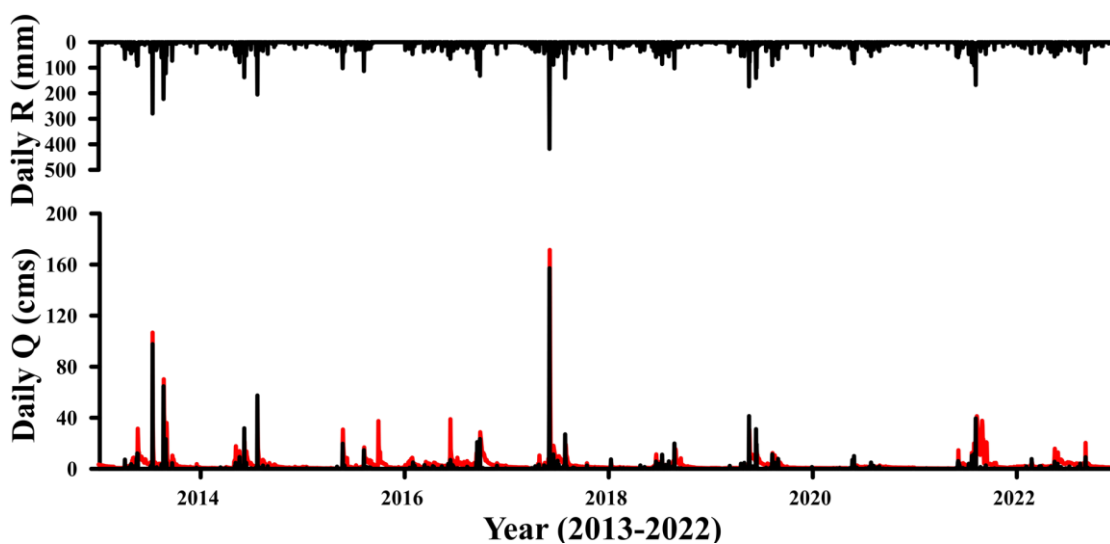


圖 4-2-4 十八重溪於 2013 至 2022 年實測流量(紅線)與調整後模擬流量(黑線)比對圖

第三節 未來氣候變遷下小水力發電量評估

根據上述不同氣候變遷情境與不同年代可能產生日降雨量所得
到南投縣信義鄉明德村與豐丘村野溪河段流量站流量資料，分析可能
產生每年可能發電總日數、每年可能總發電量與提供減碳效益。

對於未來氣候變遷下氣候選擇共有四種情境與從 2024 年至 2100
年共 77 年日雨量，本研究從兩個方向進行分析，一則挑選未來 20 年
(由 2025 年至 2044 年)在四種情境下降雨量進行模擬，二則針對 2024
年至 2100 年間，說明未來小水力發電效益可能會過低年份，主要以
年降雨量偏低且旱季累積降雨量佔年降雨量佔比偏低年份為主。本研
究於下述說明採用這兩個方向模擬主因與分析方式。

一、2025 年至 2044 年氣候變遷下小水力發電潛勢評估

本研究採用未來 20 年進行模擬主因在於目前對於小水力發電設
施使用壽命約估計為 20 年，因此當農村社區集資投入小水力發電設
施後，會思考投入成本是否能夠回收或每年可回收經濟效益。因此本
研究以未來 20 年氣候變遷條件下降雨資料進行實際模擬與評估。

本研究對未來氣候變遷情況下模擬前提：除降雨資料外，其餘地
貌資料(土地利用、土壤分佈、坡度分布、地形起伏)在未來都不更動。
而在降雨資料選用上，本研究仍選擇豐丘雨量站、和社雨量站、西巒
雨量站、新興橋等四個鄰近雨量站，但因未來氣候變遷資料是依據經

緯度給定資料，因此本研究仍以上述四個雨量站最接近經緯度點位資料來當未來降雨資料，豐丘雨量站會選用經度 120.90 與緯度 23.65 降雨資料，和社雨量站會選用經度 120.90 與緯度 23.60 降雨資料，西巒雨量站會選用經度 120.90 與緯度 23.75 降雨資料，新興橋雨量站會選用經度 120.85 與緯度 23.55 降雨資料。

表 4.3.1 與表 4.3.2 為四個雨量站於 2025 年至 2044 年四種情境降雨統計數據表。以 2025 年至 2034 年在四種情境數據而言，四個雨量站平均年降雨量約介於 1770.8mm (SSP2-4.5 情境)至 2245.1mm (SSP1-2.5 情境)，雨季累積降雨量佔年降雨量百分比約介於 74.7% (SSP5-8.5 情境)至 81.0% (SSP2-4.5 情境)，在這 10 年間降雨統計數據並未出現偏雨或偏旱極端現象。以 2035 年至 2044 年在四種情境數據而言，四個雨量站平均年降雨量約介於 1860.4 mm (SSP2-4.5 情境)至 2386.8 mm (SSP5-8.5 情境)，雨季累積降雨量佔年降雨量百分比約介於 76.7% (SSP1-2.5 情境與 SSP2-4.5 情境)至 78.8% (SSP5-8.5 情境)，在這 10 年間降雨統計數據也並未出現偏雨或偏旱極端現象。

圖 4-3-1 至圖 4-3-4 為本研究利用未來降雨資料經由降雨流量預測模式所得出郡坑溪與十八重溪於 2025 至 2044 年，在四種氣候變遷情境下之日流量分佈資料。

表 4-3-1 四個雨量站於 2025 年至 2034 年在四種情境降雨數據

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

表 4-3-2 四個雨量站於 2025 年至 2034 年在四種情境降雨數據

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

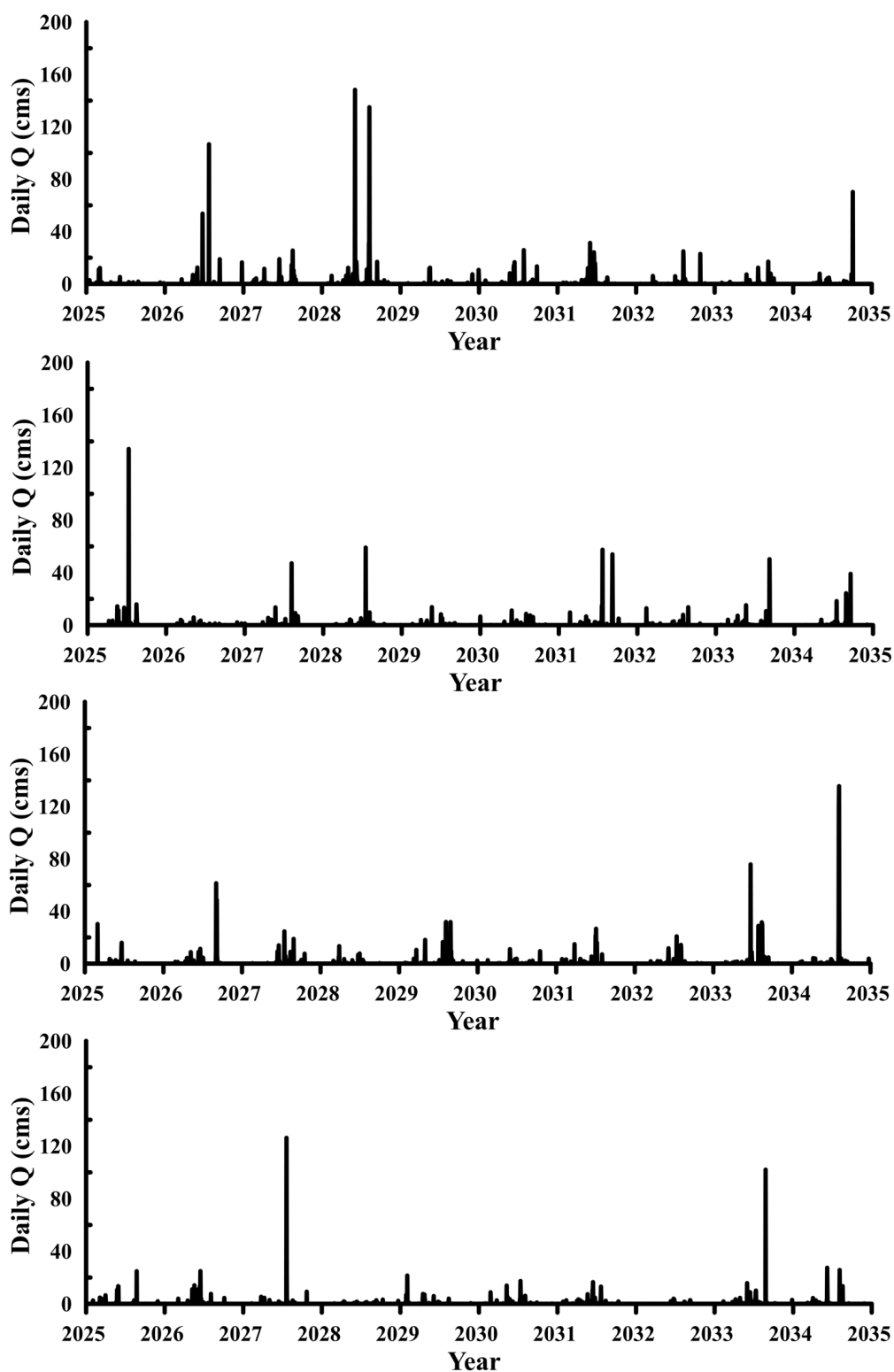


圖 4-3-1 郡坑溪 2025 年至 2034 年預測日流量分佈

(上至下圖為 SSP1-2.5、SSP2-4.5、SSP3-7.0 與 SSP 5-8.5 情境)

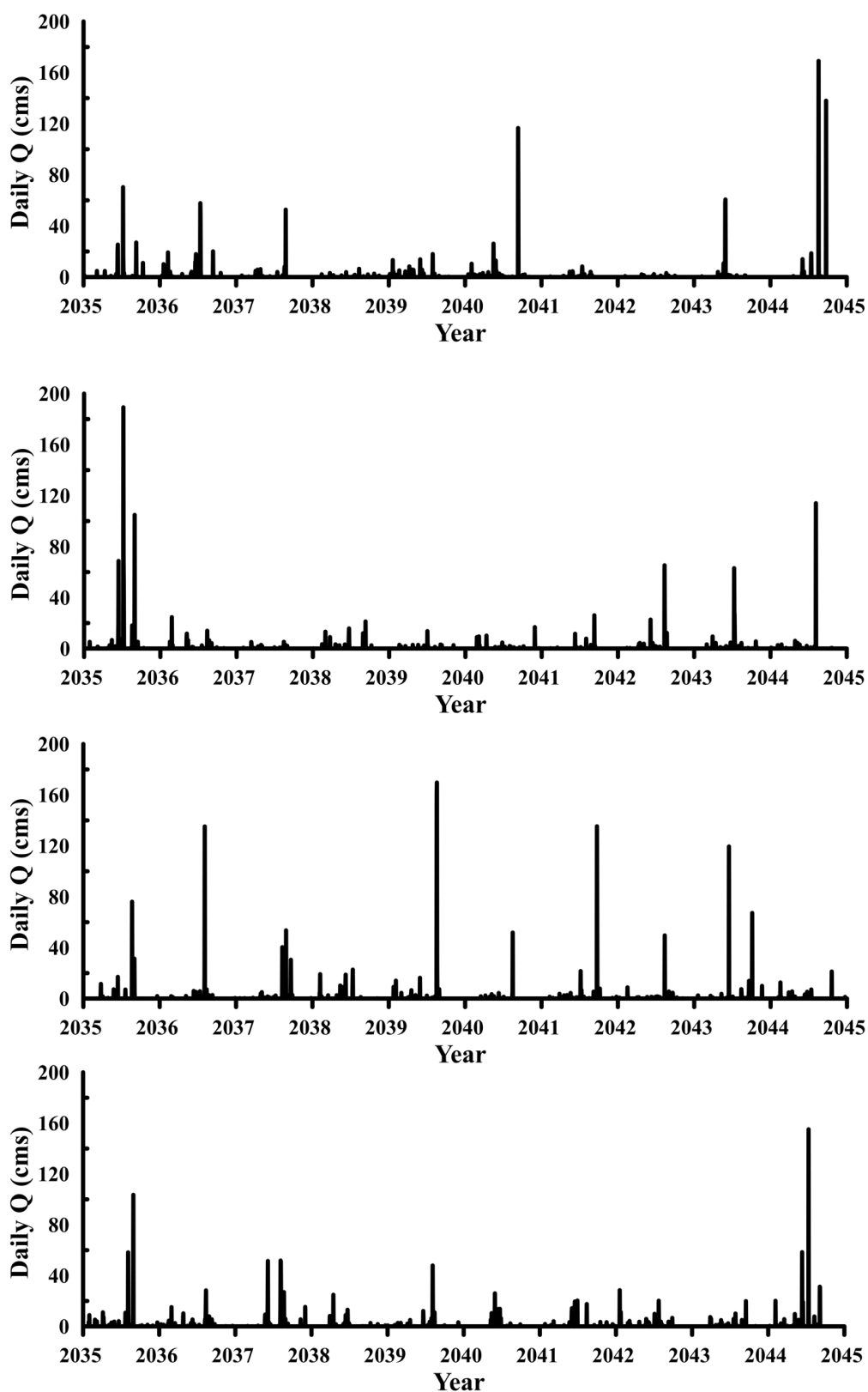


圖 4-3-2 郡坑溪 2035 年至 2044 年預測日流量分佈

(上至下圖為 SSP1-2.5、SSP2-4.5、SSP3-7.0 與 SSP 5-8.5 情境)

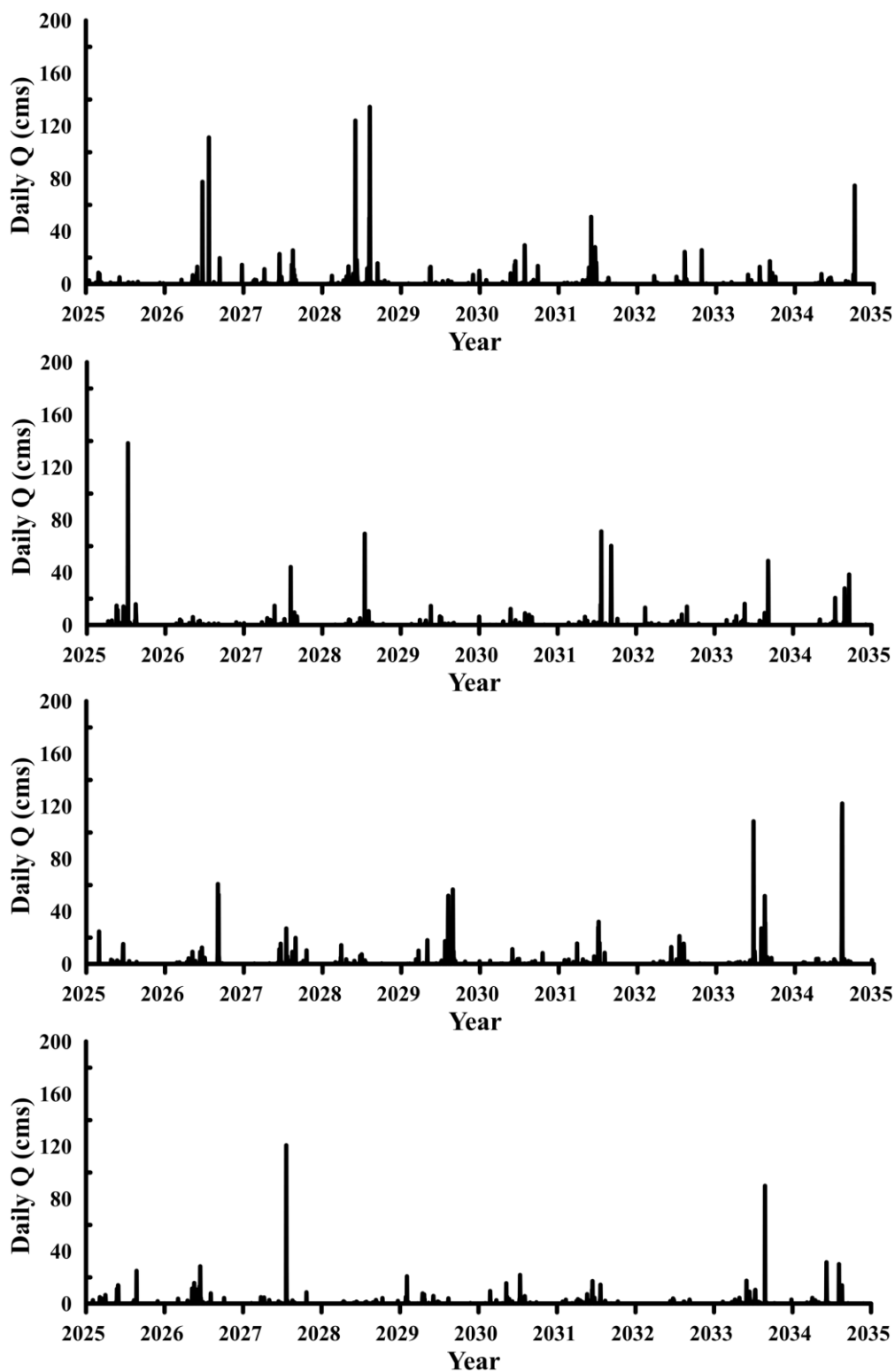


圖 4-3-3 十八重溪 2025 年至 2034 年預測日流量分佈

(上至下圖為 SSP1-2.5、SSP2-4.5、SSP3-7.0 與 SSP 5-8.5 情境)

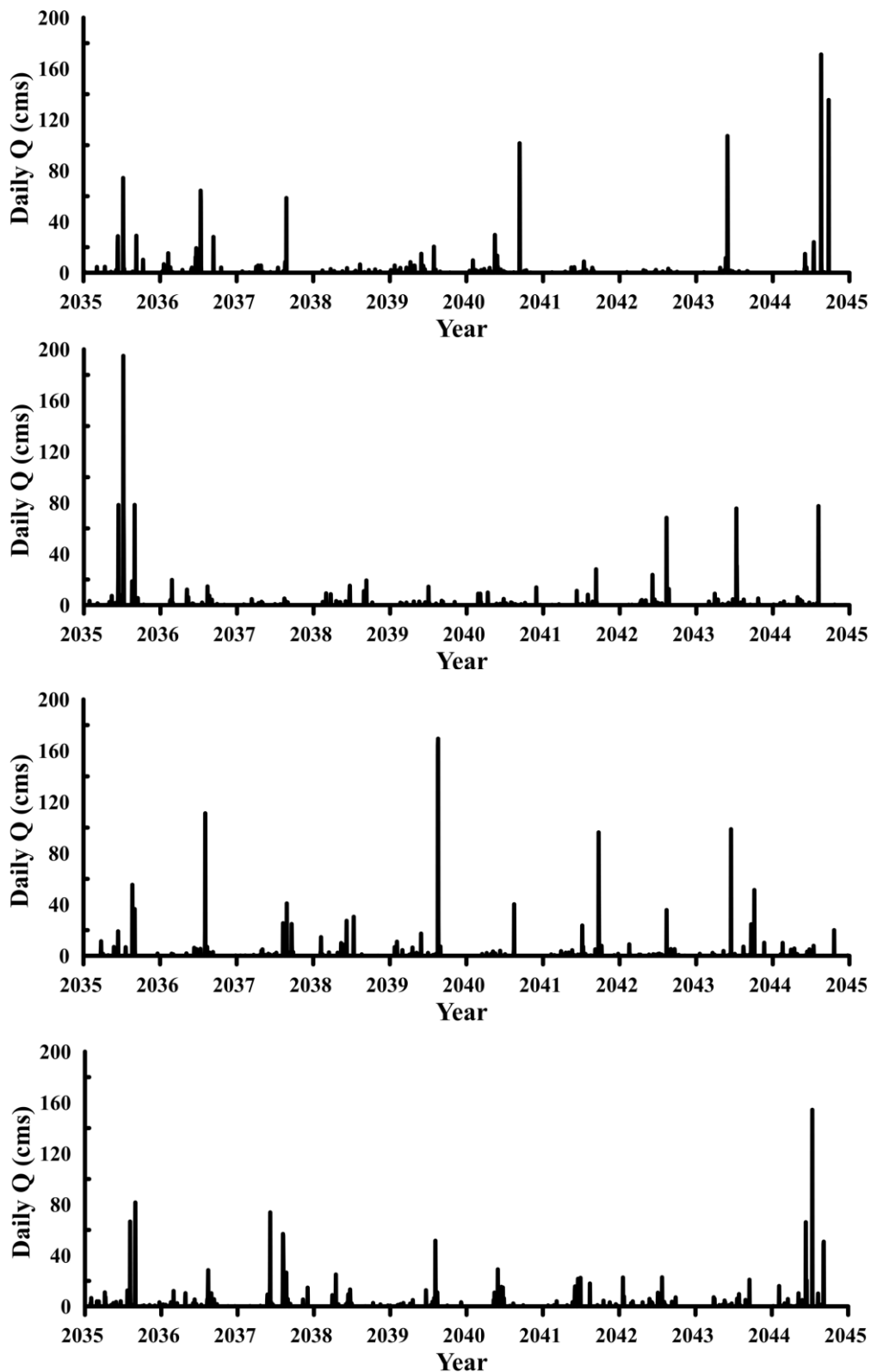


圖 4-3-4 十八重溪 2035 年至 2044 年預測日流量分佈

(上至下圖為 SSP1-2.5、SSP2-4.5、SSP3-7.0 與 SSP 5-8.5 情境)

本研究利用流量延時曲線比較各年份四種情境流量分佈情況，表 4-3-3 與表 4-3-4 分別為郡坑溪與十八重溪於 2025 年至 2044 年預測流量超越機率表。由表 4-3-3 與表 4-3-4 對應前述兩條野溪於 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。

表 4-3-3 郡坑溪於 2025 年至 2044 年預測流量超越機率表

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

表 4-3-4 十八重溪於 2025 年至 2044 年預測流量超越機率表

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	45.23	39.21	37.97	38.22	39.81	41.48	45.07	53.45
2	32.47	27.97	28.03	27.26	30.49	31.53	32.55	41.86
3	26.79	19.40	22.25	21.48	24.08	24.74	25.84	34.90
4	22.85	14.41	18.36	17.89	20.60	19.64	20.99	29.62
5	20.22	11.67	15.45	14.96	17.75	15.97	18.08	26.08
10	12.08	5.18	8.44	7.18	11.12	7.70	10.55	14.05
20	4.49	2.05	3.67	2.38	4.03	2.60	5.62	5.48
40	1.70	0.79	1.64	0.55	1.53	1.21	1.48	1.62
60	0.99	0.44	0.96	0.25	1.01	0.85	0.85	0.77
80	0.44	0.16	0.52	0.14	0.66	0.47	0.55	0.44
100	0.25	0.08	0.30	0.08	0.44	0.30	0.41	0.22
150	0.11	0.00	0.11	0.00	0.08	0.16	0.16	0.03
200	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.11	0.11	0.00

郡坑溪與十八重溪在 2025 年至 2044 年預測流量分佈顯示：

(一)比過往而言，降雨更加集中在特定豪雨或颱風事件，雖然旱

季累積降雨量在四種情境下仍佔有 20%至 25%左右，但實際

日降雨分佈卻集中在雨季期間豪雨或颱風事件。本研究以豐

丘雨量站於 2025 年至 2034 年資料而言，年降雨量仍有

2178.1mm，但日降雨量超過 100mm 年總累積降雨量卻有 1233mm，佔年累積雨量 56.6%。

(二)降雨型態變遷會導致大量降雨轉為地表逕流，而較少轉為山坡地水源涵養，經由水源涵養而在旱季產出水源補注現象將會更低。比對表 3-3-1 與表 3-3-5 數據，郡坑溪與十八重溪在 2013 年至 2022 年間流量低於 1cms 超越機率分別為 52.88% 與 67.32%，但在表 4-3-3 與表 4-4-4 數據，郡坑溪與十八重溪在 2025 年至 2044 年間，在四種氣候變遷情境下，流量低於 1cms 超越機率分別為 39.42%至 54.99%與 38.22%至 53.45%，代表野溪河道在一年內更多時間將會是低於 1cms 流量或完全無流量情況，這都不利於小水力發電發展。

對於未來氣候變遷下小水力發電潛勢效益評估，本研究採郡坑溪與十八重溪最下游點位進行評估，即為郡坑溪信義橋與十八重溪十八重溪橋。原第三章有設定取 1/2 流量或取超過 0.5cms 流量等四種情境，但目前討論未來氣候變遷下流量，因此本研究在流量設定僅考量兩情況：以全斷面流量評估，但日流量超過 9cms 以上或低於 0.5cms 都不用於發電。其餘發電估算相關設定都比對第三章，包含郡坑溪信義橋水頭落差設定為 4.7m，發電機發電效率設定為 0.7；十八重溪橋水頭落差設定為 4.7m，發電機發電效率設定為 0.7。估算表格如表

4-3-5 至表 4-3-8 所示。

表 4-3-5 郡坑溪集水區信義橋於 2025 年至 2034 年發電效益評估表

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

表 4-3-6 郡坑溪集水區信義橋於 2035 年至 2044 年發電效益評估表

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)	29.1	36.8	34.5	41.1
年平均流量<0.5cms 天數	184.9	169.8	152.7	138.7
年平均流量>9cms 天數	44.4	34.6	44.8	61.4
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)	81.2	102.8	96.2	114.7
民戶用電節省金(萬元)	90.6	114.8	107.3	128.0
賣給台電回饋金(萬元)	142.3	180.3	168.6	201.1
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)	145.4	162.5	172.3	205.5
燃煤發電年排碳數(萬 g)	3635.2	4061.4	4306.5	5136.8
燃氣發電年排碳數(萬 g)	7270.5	8122.9	8612.9	10273.6

比對第三章針對郡坑溪信義橋與十八重溪十八重溪橋評估表格，說明如下：

- (一)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。

(二)可發電天數降低，對應經濟效益與減碳效益都明顯降低。

表 4-3-7 十八重溪集水區十八重溪橋 2025 年至 2034 年效益評估表

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)	42.8	42.3	38.6	40.4
年平均流量<0.5cms 天數	181.3	172.3	157.6	137.9
年平均流量>9cms 天數	39.6	32.4	41.6	60.5
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)	119.5	117.9	107.8	112.8
民戶用電節省金(萬元)	133.3	131.6	120.4	126.0
賣給台電回饋金(萬元)	209.5	206.8	189.1	197.8
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)	214.0	211.3	193.2	202.1
燃煤發電年排碳數(萬 g)	5350.1	5281.6	4829.6	5053.7
燃氣發電年排碳數(萬 g)	10700.2	10563.2	9659.2	10107.4

表 4-3-8 十八重溪集水區十八重溪橋 2035 年至 2044 年效益評估表

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)	37.3	45.7	44.3	54.8
年平均流量<0.5cms 天數	192.3	180.3	158.9	143.6
年平均流量>9cms 天數	43.2	31.9	42.0	57.2
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)	104.2	127.5	123.7	152.8
民戶用電節省金(萬元)	116.4	142.4	138.0	170.6
賣給台電回饋金(萬元)	182.8	223.6	216.8	267.9
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)	186.7	228.5	221.5	273.8
燃煤發電年排碳數(萬 g)	4668.4	5711.8	5538.6	6844.3
燃氣發電年排碳數(萬 g)	9336.8	11423.5	11077.3	13688.6

二、未來小水力發電效益可能會過低年份

認為山坡地農村投入資本興建小水力發電設施，最在意問題會是「投資小水力發電設施能否收回成本或獲得長期收益?」，氣候變遷對小水力發電可能產生最明顯影響在於河川流量偏低，尤其在山坡地內上游集水區，更可能會發生每年河川有大量時間為無或低流量情

況，而導致小水力發電設施無法發電，收益降低或收回成本時間拉長。隨著氣候變遷影響逐漸明顯，年降雨量震盪與旱季降雨量偏低效益也會逐漸明顯。

引發河川有大量時間皆為無或低流量原因有二，一則當年度年降雨量偏低，二則當年度雨季與旱季降雨差異偏大。本研究先以豐丘與和社雨量站在前述文稿分析資料說明此兩現象。在可能發生更低年降雨量討論上，依據本文稿表 3-2-1 與表 3-2-2 過往降雨資料分析，在 2013 年至 2022 年十年間，豐丘雨量站年降雨量介於 1280.5 mm(2020 年)至 2416.5 mm(2017 年)，和社雨量站年降雨量介於 1109.0 mm(2020 年)至 2600.5 mm(2013 年)。再比對表 4-1-1 與表 4-1-3 數據，豐丘雨量站在 2024 年至 2100 年間，四個情境之最小年降雨量介於 997.7 mm (SSP 2-4.5 情境)至 1227.0 mm(SSP 1-2.6 情境)，和社雨量站在 2024 年至 2100 年間，四個情境之最小年降雨量介於 947.6 mm (SSP 3-7.0 情境)至 1024.3 mm(SSP 5-8.5 情境)，代表未來氣候變遷下，豐丘與和社都有可能發生比過往最低年降雨量更低情況。

在可能發生雨季與旱季降雨量差異越大討論上，依據本文稿表 3-2-1 與表 3-2-2 過往降雨資料分析，在 2013 年至 2022 年十年間，豐丘雨量站雨季佔比介於 64.2%(2016 年)至 91.7%(2021 年)，和社雨量站雨季佔比介於 63.5%(2016 年)至 91.1%(2021 年)。再比對表 4-1-2

與表 4-1-4 數據，豐丘雨量站在 2024 年至 2100 年間，四個情境之最大雨季百分比介於 93.0% (SSP 2-4.5 情境)至 97.7% (SSP5-8.5 情境)，最大日降雨量也介於 581.5mm(SSP 2-4.5 情境)至 679.5mm(SSP5-8.5 情境)；和社雨量站在 2024 年至 2100 年間，四個情境之最大雨季百分比介於 93.2% (SSP 2-4.5 情境)至 97.6%(SSP5-8.5 情境)，最大日降雨量也介於 515.9mm(SSP 2-4.5 情境)至 713.1mm(SSP5-8.5 情境)；上述兩個數據都說明未來氣候變遷情況下，豐丘與和社雨量站都可能發生降雨極度集中在雨季或單日日降雨偏大情況，這兩種情況也都會導致旱季降雨偏低，而使河川無流量或低流量時間更長。

針對未來年降雨量或旱季累積雨量佔比過低現象，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(2020 年)或低於和社雨量站在 2013 年至 2022 年最低年降雨量 1109.0 mm(2020 年)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，因為該年份可能會出現河川低流量或無流量時間偏多情況。

本研究篩選分析資料如表 4-3-9 所示。本研究從四種氣候變遷情境篩選出 14 個低降雨量年份，若再考量旱季累積雨量佔比偏低，則共有 4 個年份值得考量，包含 SSP2-4.5 情境 2041 年、SSP3-7.0 情境

2075 年與 2100 年與 SSP5-8.5 情境 2032 年等，這四個情境與年份都是未來發展小水力發電需要特別注意情境與年份。

表 4-3-9 豐丘與和社雨量站在未來氣候變遷低年降雨量年度

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。

第五章 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

本章說明工作項目四：「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」之進行方式跟預期內容，5.1 節說明工作項目四(一)：「台灣山坡地農村適合發展小水力發電之條件篩選」，5.2 節說明工作項目四(二)：「台灣山坡地農村適合發展小水力發電之未來發展方式評估」

第一節 台灣山坡地農村適合發展小水力發電之條件篩選

前述相關文獻分析上已經可看出：發展小水力發電第一步就是先盤點可能發展農村，這些農村需要具備幾個條件：一則該農村區域內需要野溪通過，且該野溪具有足夠高程落差；二則通過農村野溪需能匯集較多流量，這代表此野溪能提供更多流量進行發電外，也比較不受台灣雨季旱季流量明顯差異影響；三則該野溪高程落差足夠，也能提供較高發電效率。

台灣水環境行政轄管區域可能是具有野溪通過農村可能要面對問題。台灣水環境可大概分為水利署轄管河川、農村與水保署所轄管野溪、林業署所轄管更上游野溪與專為農田灌溉排水所興建灌排圳路等四種，本研究將上述各種水環境與目前探討山坡地農村關係說明如

下：

- 一、灌排圳路：水量穩定且易於興建小水力發電設施，但目前台灣灌排圳路分佈如圖 5-1-1 所示，多數灌排圳路都位於中下游，山坡地境內少有灌排圳路。以本研究所探討南投縣信義鄉明德村與豐丘村而言，並無灌排圳路通過。若有山坡地農村有灌排圳路通過，值得鼓勵該農村利用灌排圳路興建小水力發電設施，以協助農村獲得發電所帶來長期經濟效益，將有助於農村後續發展。
- 二、河川區域：位於集水區下游河川區域隸屬於水利署所轄管，河川流量大，較不受雨季旱季流量差異影響。但因位置與山坡地農村位置有所差異，一般平地農村可考量於河川區域興建小水力發電設施。
- 三、野溪區域：隸屬於農村發展與水土保持署與林業及自然保育署所轄管野溪區域，在小水力發電上具有河川地形落差優勢，但位於集水區較上游，易受雨季旱季流量差異影響，甚至越往上游農村，經常出現在旱季期間，野溪毫無流量現象。

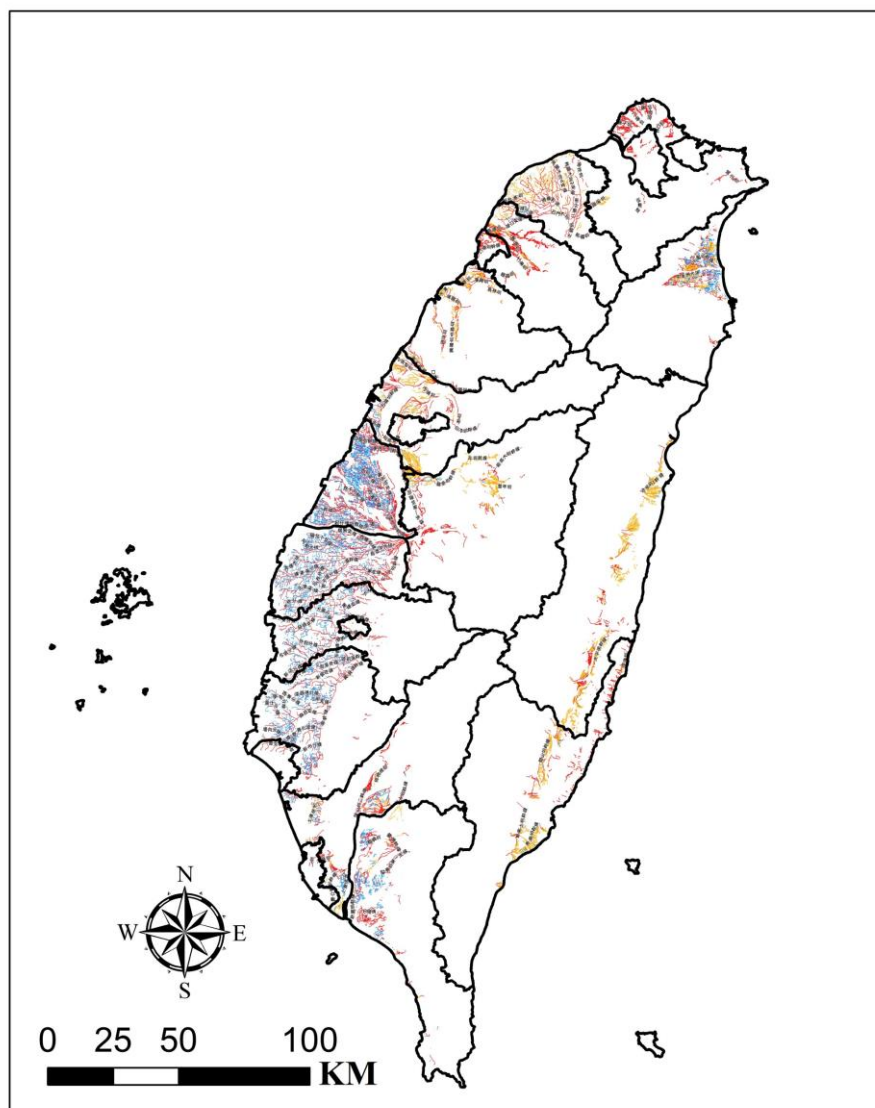


圖 5-1-1 台灣農田灌排圳路分佈圖

本研究先蒐集數篇國際相關文獻，瞭解各國對於小水力發電發展所考量因素，國際文獻在挑選小水力發電過程所選用因子如下：

- 一、西班牙錫爾河集水區案例(Fuentes-Bargues and Ferrer-Gisbert, 2015)：該研究挑選小水力發電廠址考量主要包含六大面向，包含生態族群面向、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，經由學者專家填寫 AHP 問卷評估各面向因子對小水力發電影響，以 AHP 問卷所得出各因子權重高低代表專家學者認為該因子對小水力發電選點重要性，則權重由高至低分別為受保護動物族群、水質、魚群密度、景觀質量、植生分佈、水流狀態、土壤脆弱度與沖蝕、公眾意見等因子。可看出在西班牙錫爾河集水區案例中，工程對生態、景觀與植生分佈造成影響是專家學者首重考量。

二、塞爾維亞案例(Jeftenić et al., 2021)：該研究從七個面向評估如何選取小水力發電點位，包含河川流量、經由小水力發電之年發電產值、因應小水力發電而額外建置電力相關設備成本、總投資成本、可能受影響生態保護區考量等因子。

三、歐洲評估案例(Bódis et al., 2014)：該研究評估如何在歐洲找尋更多小水力發電可實行廠址，該研究提出評估流程圖，如圖 5-1-2 所示，該圖顯示對於小水力發電廠址選取需具備高程坡度達 0.5%以上、至少六個月之河川流量可達 2cms 與河段落差達至少 6 公尺以上，以上三個條件都必須符合，才能被選定為合適興建小水力發電廠址。

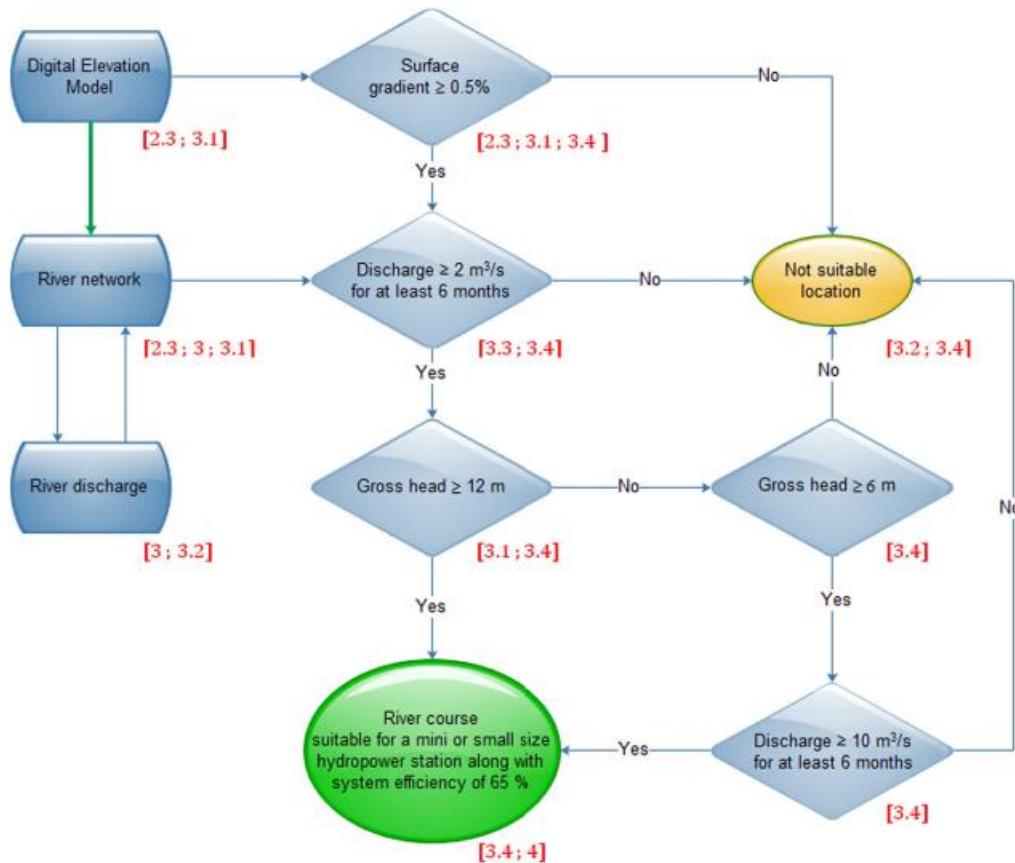


圖 5-1-2 國際文獻評估小水力發電廠址流程圖

(引用自 Bódis et al., 2014)

四、日本評估案例：根據流量時間分佈而提出篩選門檻概念，在第二章日本案例也曾提到(圖 2-2-6)，日本案例認為要先設定一固定超越機率為 95%流量值(Q95)，當一個評估位置超越機率為 95%流量值可達此值，也代表該位置一年至少會有 347 天河川流量可達此值，也方能保證興建小水力發電能帶來發電或經濟效益。

五、非洲迦納研究案例：Agyemang-Boakye et al.(2024)研究利用遙測影像與 SWAT 軟體評估迦納合適興建小水力發電廠址，該研究

認為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。

由以上五篇文獻可看出：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。若以本研究所分析郡坑溪與十八重溪集水區而言：郡坑溪集水區流量可達 1cms 以上之超越機率為 52.88%，即一年內會有 193 天可達流量 1cms 以上，且分析河段河川級序為 2。十八重溪集水區流量可達 1cms 以上之超越機率為 67.32%，即一年內會有 245 天可達流量 1cms 以上，且分析河段河川級序為 2。

若再考慮未來氣候變遷，前述豐丘與和社雨量站過往與未來降雨資料分析都顯示：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。

本研究初步提出依據河川級序或流量延時曲線流量篩選門檻：

一、廣域評估：根據過往長期流量資料(至少 10 年)，評估點位流量達 1cms 以上之超越機率需達 80% 以上。

二、廣域評估：評估點位需位於河川級序至少 3 以上河段。

三、細部評估：評估點位河川坡降需達 0.5%以上。

四、細部評估：評估點位河川落差需達 5m 以上。

第二節 台灣山坡地農村適合發展小水力發電未來發展方式評估

為因應 2050 年淨零碳排議題，台灣近幾年對找尋綠能範圍逐漸擴大，除降低碳排量考量以外，也為未來台灣龐大電子業產品外銷會被考量是否為低碳排產品因素。以大方向而言，多方面發展低碳排能源是正確。

台灣山坡地農村也面臨人口老化與產業外流等問題，若能在山坡地農村提供長久且低人力需求經濟收益，此經濟收益能對該山坡地農村帶來長遠效益。由本文稿前述日本農村發展小水力發電案例，即可發現經由小水力發電所帶來經濟效益可以促使年輕人回流或營造當地特有產業，為山坡地農村帶來活水。也由本文稿前述對於郡坑溪與十八重溪分析案例可發現：小水力發電可帶來明顯減碳效益或經濟效益，都符合台灣社會正在追求永續發展(SDG)與低碳能源等方向。

以台灣山坡地農村要發展小水力發電目標，本研究分成法規問題、山坡地農村設置小水力發電位置與類型與行政協助三點說明需解

決問題：

一、法規問題

幾乎每一份小水力發電評估國際文獻都會提到「水環境相關法規」是必須且首要克服問題，尤其對山坡地農村居民而言，近在眼前野溪流水，要實際運用這些水源在法規上卻非容易。

在山坡地野溪或沿岸區域興建小水力發電設施會牽涉不少議題，本研究依序說明如下：

(一) 定義優先發展小水力發電區域：台灣北中南東降雨時間分佈具

有明顯差異，也直接影響小水力發電可能產生效益。本研究建議以月降雨量時間分佈差異性最小的北台灣山坡地農村當成優先發展小水力發電示範區域，可能會降低因興建小水力發電而產生後續問題，也因一年多數時間都具有流量，而讓鄰近山坡地農村居民有較高意願參與籌資興建小水力發電設施。本研究建議在優先發展小水力發電區域推行幾年後，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。

(二) 定義適合發展小水力發電野溪：台灣山坡地部分野溪具有災害

潛勢，例如各等級土石流潛勢溪流，此類土石流潛勢溪流是否合適用於發展小水力發電？若除去土石流潛勢溪流，本研究建議剩下野溪可採河川級序至少 3 以上方為合適發展小水力發電

對象。

(三)水源使用適法性：以台灣山坡地野溪而言，目前並未開放民眾運用野溪水源進行營利相關事務。但小水力發電在台灣也傾向由民間團體自主籌資興建，因此若要促成山坡地農村社區運用野溪水源進行小水力發電，本研究建議山坡地主管單位需先討論野溪水源使用適法性問題，適度放寬野溪水源取用限制。

(四)取用多少水源限制：以全野溪斷面水量進行小水力發電可能會帶來最高減碳與經濟效益，但也可能因為生態基流量問題而對野溪生態環境造成最大破壞。本研究在前述案例中也對郡坑溪與十八重溪取用一半水量進行發電估算，也代表在小水力發電與生態環境影響間取平衡點。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。

(五)既有野溪橫向工程構造物改建問題：小水力發電需要水頭落差，在山坡地野溪具有落差位置通常是橫向構造物，例如防砂壩體、固床工、堰體等工程，若要以此類既有工程進行小水力發電，勢必得對這些既有工程構造物進行部分改變，例如在防砂壩體部分位置加裝水力發電設施或引流管，但這些改變是否會影響工程構造物防災效益或安全性？或既有工程構造物可接受什麼類型改變？本研究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。

(六)由小水力發電籌資團體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。

(七)防災期間小水力發電設施操作管理：台灣在雨季期間經常發生颱風豪雨事件，也對山坡地野溪帶來土砂災害。而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?本研究也建議應由主管單位先行討論此問題。

(八)水土保持技術規範可考量加入水力發電相關章節：依據水土保持法第八條第九款：「其他因土地開發利用，為維護水土資源及其品質，或防治災害需實施之水土保持處理與維護。」，小水力發電在野溪內或旁使用應符合本款說明內容。水土保持技術規範也是台灣山坡地工程的指引，但過往小水力發電並不在技術規範內容內，近年來小水力發電觀念逐漸在台灣水環境相關單位或技師團體逐漸成熟，本研究建議可由主管單位邀請產學界一同討論小水力發電在台灣山坡地使用的考量，進而在水土保持技術規範修訂或增設相關內容。

以上八點是本研究認為法規層面需優先討論或解決問題，也是後續願投資小水力發電之農村社區將面臨的主要法規問題。

二、山坡地農村設置小水力發電位置與類型

台灣山坡地農村內野溪是設置小水力發電主要位置，但可因為野溪水量而決定設置位置與類型，本研究區分成兩類說明：

(一)以防砂壩體來水量進行小水力發電設置：防砂壩體提供小水力發電所需要水頭落差，因此防砂壩體一直被認為是具有小水力發電潛勢區域，本研究第二章日本山坡地農村發展小水力發電案例也多從防砂壩體取水，且流量都未達 1cms 即可發電。例如第二章提及日本松熊村小水力發電站，水頭落差達 20.4 公尺，設計流量為 $0.22 \text{ m}^3/\text{s}$ ，即為有效利用防砂壩體落差產生大量發電案例。

利用防砂壩體進行小水力發電機組建議可採用本研究第二章提及日本山坡地農村採用貨櫃屋方式，此類貨櫃屋成本不高且移動容易，所有發電儀器都在貨櫃屋內事先安裝，到現場後只需要簡易接管就可以進行發電，對當地生態環境破壞也小，以貨櫃屋方式進行小水力發電是值得考量方式。

(二)在河川級序至少 3 以上野溪河段以離槽方式取水發電：Couto et

al.(2018)提出四種興建河川工程因應小水力發電形式(如圖 3-3-1)，但這四種方式在台灣要用於小水力發電並不合適，這四種方式都是利用野溪工程抬高水頭落差或導流，台灣山坡地為控制土砂運移而興建防砂壩體正類似 Couto et al.(2018)所提出類型，但防砂壩體縱向落差造成生態棲地破壞已是多年來生態保育團體不斷抗議問題，因此要因發展小水力發電而再興建野溪橫向工程，恐怕在台灣可行性不高。

在考量降低對生態棲地破壞，也避免將野溪全流量都用於小水力發電，本研究建議採用離槽方式取部分水量進行發電，如圖 5-2-1 所示，以離槽取水發電方式可降低破壞野溪棲地問題，發電後水量也回到野溪中，不致造成過大影響。



圖 5-2-1 興建離槽小水力發電示意圖

(本圖引自 Turbulent Hydro 公司介紹影片)

三、行政協助

聯合國小水力發電發展報告 2022 年版提及：各國水環境主管單位對小水力發電態度決定該國在小水力發電發展程度。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：

- (一)為小水力發電提供單一申請窗口，降低使用小水力發電再生能源上困難，並簡化許可流程。
- (二)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。
- (三)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。
- (四)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。

多次在台灣舉辦的小水力發電論壇都有邀請日本或歐洲小水力發電專家前來，國際專家對台灣發展小水力發電都認為潛力相當高，因台灣年降雨量高且地形陡峭，具備小水力發電所需要流量跟水頭落差。以發展水力發電聞名的挪威，年降雨量僅 1000mm，挪威境內最

高山脈高程為 2469 公尺，台灣在年降雨量與最高山脈高程數據都比挪威更高，挪威已有 89.16% 用電來自於水力發電，挪威又是非常重視生態環境棲地的國家，因此挪威在小水力發電的發展值得台灣重視與學習。

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。

第六章 結論

本研究探討山坡地農村發展小水力發電可行性，並由國際文獻、南投縣信義鄉明德村與豐丘村發展案例、未來氣候變遷下小水力發電潛勢與未來台灣山坡地農村發展小水力發電指引等四方向說明，以下詳列本研究今年已完成內容。

一、由國際文獻分析小小水力發電在國際發展趨勢：本研究已經分析

超過 10 篇以上國際相關文獻，可得到以下幾個論點：

(一)近年較多國際案例將小水力發電結合農村發展，小水力發電可

為農村地區提供電力及經濟協助方面發揮非常重要作用。小水

力發電在國際發展趨勢上，2000 年後至 2016 年間快速成長。

(二)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，東亞、中亞與東南亞都是目前已開發與預估可發

展小水力發電潛能差距最大三個地區，代表亞洲地區在開發小

水力發電上，仍有相當大潛力。

(三)小水力發電發展報告 2022 年版給予小水力發電建議發展流程

包含以下六點：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與加強國際和地區間合作。

(四)根據相關文獻對於台灣小水力發電未來發展建議包含以下六點：水資源再生能源永續發展、建立穩定流量量測資料、建立公務單位單一收案窗口、鼓勵民間企業建立小水力發電廠、推動綠色能源與再生能源相關教育理念與建立綠色能源金融體系。

二、由國際文獻分析山坡地農村結合小水力發電，本研究已經分析超過 5 篇以上國際相關文獻，可得到以下幾個論點：

(一)根據三個日本山坡地農村發展小水力發電經驗：設計流量介於 0.07 至 0.33cms 之間，都可為當地農村帶來不小經濟收益。小水力發電硬體設備在該農村僅為小貨櫃屋、排水渠道與相關發電設施硬體，佔地不大且再移動性高，對當地生態環境影響小。對當地籌資居民而言，都可在 10 年內回收成本，後續每一年都是淨利潤回收，預計最少可使用 20 年。

(二)小水力發電發展第一步即為盤點，本研究已彙整由日本國際協力機構(JICA)於 2011 年所提出「小規模水力發電指引與手冊」第五章「選擇水力發電區域與位置」完整內容，提供相關單位後續盤點過程上參考。

三、在野溪集水區近年地貌變化評估上，本研究以衛星影像分析十年 NDVI 與土地利用變化，南投縣信義鄉明德村與豐丘村在十年

NDVI 變化上，近年有逐漸降低趨勢，約從 2021 年起有明顯 NDVI 值下降情況。以土地利用而言，喬木與灌木約佔集水區 90%以上，人為開發地約在 3%以下。

四、在野溪集水區近年雨量流量分析，本研究分析十年雨量與流量資料，以豐丘與和社雨量站而言，近十年平均降雨量約介於 1772.7 mm 至 1858.3mm，平均雨季降雨量佔年降雨量百分比約為 80.7% 至 81.2%。本研究以排水面積比率法(DAR)結合內茅埔流量站流量資料，推算出郡坑溪與十八重溪集水區流量歷年資料。

五、在野溪小水力發電量評估上，本研究針對郡坑溪與十八重溪集水區選定三個點位，在考量當地河川生態流量需求與發電機組風險等問題，進行四種設計流量，評估結果都顯示不論是發電效益或經濟效益，都足以提供當地村落使用或成為農村發展經濟收入。

六、在未來氣候變遷下雨量分析上，本研究仍以豐丘與和社兩個雨量站進行分析，以過往與未來平均年降雨量比較，未來四種氣候變遷情境平均年降雨量約為過往 1 至 1.20 倍，兩個雨量站在未來年降雨量起伏加大，未來年降雨量旱雨年並未明顯下降，但豐雨年確有明顯提升。以雨季累積降雨量佔年降雨量百分比而言，過往資料平均值與未來四種氣候變遷情境下平均值差異不大，都落在 79.0%至 82.6%之間。未來四種氣候變遷情境下最大日降雨量約

為過往 1.02 至 1.42 倍，有明顯提升。

七、本研究以 SWAT 模式建構郡坑溪與十八重溪流量預測模式，並以 2013 年至 2022 年日流量資料為模式訓練基礎，此流量預測模式初始結果正確率不到 70%，本研究認為模式將降雨過度反映在逕流上是主因；經本研究進行部分參數校正後，校正後模式準確率可達 76.8%與 78.4%。

八、本研究選用 2025 年至 2044 年在四種氣候變遷情境下降雨量，帶入前述流量產出預測模式，而得出未來可能流量分佈。模式預測結果顯示：相較於 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。在四種氣候變遷情境下，流量低於 1cms 超越機率分別為 39.42%至 54.99%與 38.22%至 53.45%，代表在中台灣野溪河道在一年內更多時間將會是低於 1cms 流量或完全無流量情況，這都不利於小水力發電發展。

九、郡坑溪與十八重溪在 2025 年至 2044 年之小水力發電經濟與減碳效益評估上，四種氣候變遷情境下，每年無法發電天數已經超過一半時間，包含流量 $<0.5\text{cms}$ 或 $>9\text{cms}$ 天數都已經超過 183 天以上，對應經濟效益與減碳效益都明顯降低。

十、本研究一併評估未來小水力發電效益可能會過低年份，篩選條件

為在偏低年降雨量年份中，旱季累積降雨量也佔年降雨量偏小，評估結果顯示 4 個年份符合此篩選條件，包含 SSP2-4.5 情境 2041 年、SSP3-7.0 情境 2075 年與 2100 年與 SSP5-8.5 情境 2032 年等。

十一、經本研究引用國際相關文獻對於農村發展小水力發電設定條件，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。本研究提出篩選建議依序是評估點位流量達 1cms 以上之超越機率需達 80%以上、評估點位需位於河川級序至少 3 以上河段、評估點位河川坡降需達 0.5%以上與評估點位河川落差需達 5m 以上。

十二、對於台灣山坡地農村未來發展小水力發電方式，本研究從法規問題、山坡地農村設置小水力發電位置與類型與行政協助三點說明。在法規上，本研究建議山坡地主管機關應從定義優先發展小水力發電區域、定義適合發展小水力發電野溪、水源使用適法性、取用多少水源限制、既有野溪橫向工程構造物改建問題、由小水力發電籌資團體新建工程構造物合法性與防災期間小水力發電設施操作管理等法規著手。而在山坡地農村設置小水力發電位置上，本研究建議可在防砂壩體下游引用防砂壩體水源或野溪旁興建離槽式小水力發電是可行方式。而在行政協助上，國際小

水力發電相關文獻都提及為小水力發電提供單一申請窗口、放寬小水力發電籌資團體對於資金融資來源與額度、定期舉辦小水力發電巡講與舉辦小水力發電設施管理維護訓練課程都可讓小水力發電發展更迅速關鍵。

參考文獻

(本參考文獻置放方式依據該文獻在文稿中出現順序而置放)

(以下為第一章所使用參考文獻)

- 1.呂錫民(2011)，「我國未來能源結構」，科學發展 464 期，P60-P65。
- 2.IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pp., doi:10.1017/9781009157940.
- 3.陳映璇(2022)，「小水力發電是什麼？為何說台灣超有潛力，還獲日本元老級企業助攻？」，數位時代網站新聞，網址：<https://www.bnext.com.tw/article/72203/phd-small-hydroelectricity-?>(查詢日期：2024/06/01)

(以下為第二章所使用參考文獻)

- 4.Asghar, M.M., et al., 2020. Nonrenewable energy—environmental and health effects on human capital: empirical evidence from Pakistan. Environ. Sci. Pollut. Res. 27 (3), 2630 – 2646.

- 5.Infield, D., Freris, L., 2020. Renewable Energy in Power Systems. John Wiley & Sons.
- 6.Stadelmann-Steffen, I., Rieder, S., Strotz, C., 2020. The politics of renewable energy production in a federal context: the deployment of small hydropower in the swiss cantons. J. Environ. Dev. 29 (1), 75 – 98.
- 7.Khodaei, H., et al., 2018. Fuzzy-based heat and power hub models for cost-emission operation of an industrial consumer using compromise programming. Appl. Therm. Eng. 137, 395 – 405.
- 8.Liu, Y., Wang, W., Ghadimi, N., 2017. Electricity load forecasting by an improved forecast engine for building level consumers. Energy 139, 18 – 30.
- 9.Manafi, H., et al., 2013. Optimal placement of distributed generations in radial distribution systems using various PSO and DE algorithms. Elektron. Elektrotech. 19 (10), 53 – 57.
- 10.Azrulhisham, E., and M. Arif Azri. "Desilting Basin Efficiency Estimation for Run-of-River Small Hydropower Plants." Int. J. Recent Technol. Eng. 8.4 (2020).
- 11.Tian, Y., et al., 2020a. Assessment power generation potential of small hydropower plants using GIS software. Energy Rep. 6, 1393 – 1404.
- 12.REN21(2015). Renewables 2015 Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century
- 13.Couto, T.B.A., Olden, J.D. 2018. Global proliferation of small hydropower plants – science and policy. Front Ecol Environ 2018; 16(2): 91–100, doi: 10.1002/fee.1746

- 14.UNIDO, ICSHP (2022). World Small Hydropower Development Report 2022 : Global Overview. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, Austria; International Center on Small Hydro Power, Hangzhou, China. Available at www.unido.org/WSHPDR2022.
- 15.LIU, D., LIU, H., WANG, X., and Kremere, E., eds. (2019). World Small Hydropower Development Report 2019. United Nations Industrial Development Organization; International Center on Small Hydro Power. Available from www.smallhydroworld.org.
- 16.未來生活實驗室(2021),「台灣綠能產業有哪些?風力發電、離岸風電原理、優缺點比較」,今週刊,網址:<https://tinyurl.com/yc33zcpc> (查詢時間:2024/05/01)
- 17.經濟部水利署(2022),水文資料,經濟部水利署,網址:<https://www.wra.gov.tw/cp.aspx?n=3168>,查詢時間:2024/05/01
- 18.劉宏仁、林文勝、游景雲、陳谷汎(2024),「小水力發電之發展歷程、現況與推動建議」,土木水利 51 卷 1 期, Pp. 52-58
- 19.經濟部水利署(2023),全台小水力開發潛能地區,經濟部水利署,網址:<https://www.wra.gov.tw/cp.aspx?n=3824>,查詢時間:2024/05/01
- 20.農業部農田水利署(2024),配合政府綠能政策,農田水利署公布 13 處小水力發電潛力場址,農業部農田水利署,網址:<https://www.ia.gov.tw/zh-TW/news/NewsContent?a=87&nid=5396&g=1>,查詢時間:2024/05/01
- 21.李婉如(2022),水保局媒合國泰人壽恆水創電攜手催生「黃金小鎮公民電廠」,PeoPo 公民新聞,網址

<https://www.peopo.org/news/604949>，查詢時間：2024/05/01

22.Japan International Cooperation Agency (JICA), 2011, Guideline and Manual for Hydropower Development Vol. 2: Small Scale Hydropower, Japan International Cooperation Agency.

23.胡慕情、賴冠丞(2017)，「能源再生社會 日本小水力發電轉動農村再造」，環境資訊中心：我們島，網址：<https://e-info.org.tw/node/207214>，查詢時間：2024/05/01

(以下為第三章所使用參考文獻)

24.Aquino, D.D.N., Rocha Neto, O.C.D., Moreira, M.A., Teixeira, A.D.S. 2018. Use of remote sensing to identify areas at risk of degradation in the semi-arid region. Agricultural Engineering 49(3), p. 420-429,

25.Dikbas, Fatih & Yasar, Mutlu. 2020. Data-Driven Modeling of Flows of Antalya Basin and Reconstruction of Missing Data. Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering. 44. 10.1007/s40996-019-00331-6.

26.臺灣電力公司(2024)，「住宅夏月電價每年循例於6月1日實施 全年平均電價不變 並非調漲」，經濟部臺灣電力公司，網址：https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=114974，查詢時間：2024/07/01。

27.臺灣電力公司(2024)，「113 年度再生能源電能躉購費率正式公告」，經濟部臺灣電力公司，網址：https://www.moea.gov.tw/MNS/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=114036，查詢時間：2024/07/01。

- 28.Orkodjo, T.P., Kranjac-Berisavijevic, G., Abagale, F.K. 2022. Impact of climate change on future availability of water for irrigation and hydropower generation in the Omo-Gibe Basin of Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 44, 101254.
- 29.Ahiale, E.K., Kabo–Bah, A.T., Gyamfi, S. 2023. Impacts of LULC and climate changes on hydropower generation and development: A systematic review. *Heliyon* 9(11), e21247.
- 30.Tayyeh, K.H., Mohammed, R. 2024. Vulnerability and resilience of hydropower generation under climate change scenarios: Haditha dam reservoir case study. *Applied Energy* 336, 123308.
- 31.Waheed, A., Jamal, M.H., Javed, M.F., Muhammad, K.I. 2024. A CMIP6 multi-model based analysis of potential climate change effects on watershed runoff using SWAT model: A case study of kunhar river basin, Pakistan. *Heliyon* 10(8), e28951.
- 32.Yang, G., Zhang, M., Luo, G., Liu, T. 2024. Fluctuations of discharge and hydropower potential in the upper Amu Darya under the background of climate change. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 51, 101615.

(以下為第四及五章所使用參考文獻)

- 33.Agyemang-Boakye, B., Ofosu, E. A., Domfeh, M. K., Dekongmen, B. W., Koduah, R. T., Bakuri, R. W., & Kpiebaya, P. (2024). Potential for small hydropower development on the Pumpum River of Ghana using Remote Sensing and Soil Water Assessment Tool. *Green Technologies and Sustainability*, 2(1), 100063.
- 34.Bódis, K., Monforti, F., & Szabó, S. (2014). Could Europe have more mini hydro sites? A suitability analysis based on continentally

- harmonized geographical and hydrological data. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 37, 794-808.
- 35.Fuentes-Bargues, J. L., & Ferrer-Gisbert, P. S. (2015). Selecting a small run-of-river hydropower plant by the analytic hierarchy process (AHP): A case study of Miño-Sil river basin, Spain. Ecological Engineering, 85, 307-316.
- 36.Jeftenić, G., Kolaković, S., Panić, M., Kolaković, S., & Mandić, V. (2021). A Methodology Proposal for Selecting the Optimal Location for Small Hydropower Plants. Tehnički vjesnik, 28(5), 1462-1470.

附錄一、期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一、為配合本署業務需求，計畫內容建議調整(或納入後續執行評估參考)部分：		
一	研究主題呼應現階段農村發展。	感謝建議。
二	文獻回顧只有五篇太少，且著重在小水力，對於”農村”著墨不足。	感謝建議，目前本研究第 2.2 節都為日本山坡地農村發展案例，本研究也提供日本如何針對山坡地農村進行小水力發電盤點流程。
三	小水力發電應具備環境、地質、河道、水量及其穩定性、水流強度...等因素，缺乏充份說明。	感謝建議，小水力發電最重視參數是流量與落差，由於越往下游匯集流量越大，也因此小水力發電對於上游地質仰賴性較低，對於上游集水區植生覆蓋與土地利用有較明顯影響，因此本研究於第三章也分

項次	審查意見	回覆辦理情形
		析近十年 NDVI 與土地利用變化，並分析近十年雨量與流量分佈。
四	主流河川似乎不太適合小水力發電；另農村社區發展條件亦需納入考量。	感謝建議，目前分析內容都不隸屬於河川區域。依據日本山坡地農村發展小水力發電案例，只要農村內具有能夠凝聚居民意見協會，例如社區發展協會，可充當公務單位與農村社區共同發展小水力發電中間角色，就足以發展小水力發電設施。
五	整體計畫很符合未來發展趨勢，也能為因應 2050 淨零碳排放目標，擬定目標。	感謝建議。

項次	審查意見	回覆辦理情形
六	在目標與工作項目中，除「發電量評估」外，也建議增加「減碳量評估」或「碳匯」可能性。	感謝建議，目前本研究第三章已估算發電效益、經濟效益與減碳效益。
七	評估預期效益上，在技術面(技術手冊)及制度面(行政、法規、策略)可增加其可能性。	感謝建議，本研究已在第二章提出日本山坡地農村如何盤點小水力發電設施之說明，也提出聯合國針對各國發展小水力發電建議。
八	本計畫研究方向符合本組農村發展趨勢，附件亦補充效益評估，實施方法具體可行。	感謝建議。
九	請補述運用那些型式之發電機組及其發電效率？	感謝建議，以目前本研究所分析南投縣信義鄉明德村與豐丘村，流量大多都在 9cms 以下，9cms 以下大多採用 Cross-flow 發電機，發電效率依據各發電機組設計公司而

項次	審查意見	回覆辦理情形
		定，大多介於 0.5 至 0.8 之間。
十	有關計畫書格式及經費審查 部分： 1.本計畫請以補助經費 730 仟元調整編列。	感謝建議，已根據意見調整。
十一	本年度執行期限請修正為自 113 年 2 月 7 日至 113 年 12 月 31 日。(10.9 個月)。薪俸、保 險、退休離職儲金、主持人 費、兼任研究助理，請以計畫 執行期限 10.9 個月內編列。年 終獎金亦配合計畫期程。	感謝建議，已根據意見調整。

附錄二、期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一	P1-2 碳排量及碳排放系數參考 2011 年 2018 年已距離 2024 過於久遠，請彙整最新數據或資訊。	感謝建議。本研究於 P1-2 所提供 2011 年版本在於讓讀者參考，IPCC 於 2018 年版本為目前 IPCC 針對各種能源技術碳排放係數最新版本。可搜尋「Emissions of selected electricity supply technologies」關鍵字，即可找到隸屬於 IPCC 所公布最新資料停留在第五次評估報告(AR5)，即為本研究使用資料。第六次評估報告(AR6)並未更新此資料。
二	P2-6 圖 2-1-4 結果(負成長)，並不能支持本次研究，建議更新資訊。	感謝建議，本研究引用該圖資目在於實際反映世界小水力發電報告對於各洲探詢結果，亞洲部分為負值原因在文稿中也有提及：「可能受到有

項次	審查意見	回覆辦理情形
		部分國家未更新資訊有關」。 發展低碳綠能已是世界共識，負值數據僅會讓亞洲各國更加速發展低碳綠能。
三	水力發電過程破壞河川生態環境，建議有些支持案例或研究呈現。	感謝建議，已補充在 2.1 節「四、水力發電機組可能對生態棲地環境影響」內容。
四	研究分析及結論建議，請強化「減碳效益」及「碳匯」說明。	感謝建議。本研究於第四章估算減碳效益過程，已有實際數據說明以小水力發電碳排放量與傳統用燃煤或燃天然氣差異，如表 3-3-2 至表 3-3-4、表 3-3-6 至表 3-3-8、表 4-3-5 至表 4-3-8。小水力發電對於碳匯量貢獻較少，碳匯量應跟坡面植生相關。 本研究已在結論中補充減碳

項次	審查意見	回覆辦理情形
		效益內容。
五	研究結果提供給各分署進行小水力發電參考。	感謝建議，若研究內容對於各分署拓展小水力發電有助益，本研究團隊樂於協助。
六	P.1-1 頁，第一節 計畫目，第三段結尾處內容「這一點…」口語化用詞建議修正。	感謝建議，已刪除該詞，並刪除文稿中「的」「了」等字眼。
七	P.1-4 頁，信義鄉誤植為信義「相」，請修正。	感謝建議，已全文修正。
八	P.2-9 頁，全世界小水力發電資源評估...，如以下「六點」...，應修正為「七點」。	感謝建議，已修正。
九	農村發展小水力發電之可行性評估，建議納入現行土地使用管制法規之論述，並簡要說明法規與本計畫主要目標關	感謝建議，台灣山坡地農村發展小水力發電若朝向野溪內興建，則會跟水源取用及既有防砂工程改建相關；若朝向以

項次	審查意見	回覆辦理情形
	係。	離槽方式引水發電，離槽所在位置的土地應屬一般民眾私人土地，能否取用水源進行營利相關行為，則跟現行山坡地野溪相關法規相關。本研究針對上述這些議題有在第五章說明。
十	建議簡述本計畫所選定之地點，導入台電電網之可及性及經濟效益。	感謝建議。根據本研究人員諮詢台灣電力公司信義服務所(負責南投縣信義鄉供電相關業務，地址：南投縣信義鄉玉山路 85 號)，由台電建設主體電網的先決條件是「須先經過評估，確定當地有足夠電力能匯入台電主電網」，臺灣電力公司才會興建相關電網設施。若小水力發電電量不足以會入主電網，也可提供當地農

項次	審查意見	回覆辦理情形
		村產業使用，經濟收益可見本研究第三章與第四章經濟效益分析章節內容。
十一	建議可分為二個面向，其一為制度面探討，藉由借鏡日本法規，討論如何協助臺灣法規鬆綁，另一則為組織面，因本署輔導農村社區多為非營利組織，如何協助轉導轉型為合作社、公司化，亦為是否可成功重要因素。	感謝建議。本研究建議先由法規解套開始，尤其在如何利用既有工程進行小水力發電，會牽涉不少水土保持技術規範上的規定，這部分需要實驗或軟體模擬來訂定合理值。本研究在第五章說明此事。 一旦法規解套，在農村社區辦理數場說明會，詳細說明未來收益方案，讓農村居民認為對農村未來發展有益，且日本案例可參考，自然能夠吸引農村社區投入。

項次	審查意見	回覆辦理情形
十二	建議可就山坡地野溪、水圳及灌溉溝渠等不同型態小水力發電提供適合機型及解套法規與成功案例等。	感謝建議，依據本研究於圖5-1 所述，水圳及灌溉溝渠可能隸屬於農田水利署業務範圍，且較少設置在山坡地農村內。山坡地農村較常見的野溪如何評估小水力發電，國際案例已在第二章說明，本研究也在第三章與第四章詳細說明評估方法與步驟及未來氣候變遷可能產生效益。

附錄三、期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	審查意見	回覆辦理情形
一	小水力發電考量因子，與計畫所獲得各因子數值之解析度請再說明。	感謝建議，小水力發電考量因子仍回到小水力發電概算公式，於本文稿第 3-26 頁有敘述各因子的說明。依據該發電公式，本研究在 Q 發電流量(cms)設定時間解析度為小時；He 有效水頭高度(m)為經數值高程模型(DEM)所推算，本文採用的數值高程模型(DEM)空間解析度為 5m；P 發電量(kW)之時間解析度為小時。
二	遙測影像資源之應用與本研究之相關性請再說明，其應用在坡地農村小水力發電開發的限制為何。另，NDVI 分析與土地利用種類變遷是否為小水力發電的重要因子？請	感謝建議。小水力發電仰賴河川或野溪流量，因此集水區內降雨逕流關係即為推求河段流量的主要模式。要以降雨逕流模式推估流量，集水區地貌(尤其土地利用或地表覆蓋)是

項次	審查意見	回覆辦理情形
	說明探討原因。	主導逕流係數的主因。台灣土地利用圖層並不多版，也尚未做到每年都能更新，因此本研究引用 NDVI 影像判讀集水區植生覆蓋率，引用 Dynamic World 的土地利用圖層也在判讀集水區地表覆蓋，這兩個因子足以瞭解集水區近年地貌演變情況，也在判讀集水區近年降雨轉換為逕流過程。應用遙測資源在坡地農村小水力發電並無限制。 由 NDVI 或 Dynamic World 的土地利用圖層可概估逕流係數大小，當集水區地貌趨向逕流係數較大，則多半雨季降雨會形成河川流量，但流量過大也無法發電。反而當集水區地

項次	審查意見	回覆辦理情形
		貌趨向逕流係數較小，代表集水區地貌能將較多降雨轉成入滲，成為水源涵養，才能在旱季期間仍釋出水源，成為河川在旱季的流量來源，也才能維持小水力發電運作。
3	氣候變遷下極端流量出現頻率增加，是否因此增加設備建置與維護的成本？這點請納入評估項目。	感謝建議。本研究在估算小水力發電有設定四種估算方式，其中即包含流量超過 9cms 即不發電。設定 9cms 的目的除了說明 9cms 是一般川流式小水力發電機組的發電流量可承受上限外，也說明在高流量下不進行發電的限制。以台灣山坡地農村在高流量下可能會引發野溪土砂明顯運移的狀態，繼續發電可能會導致土砂進入發電機組而引致毀

項次	審查意見	回覆辦理情形
		損。也因為高流量不發電，因此不產生機組受土砂毀損的維護成本。氣候變遷所產生的流量集中現象，在小水力發電並未受益，超過 9cms 的流量並無法發電。各坡地農村可依據野溪概況與機組挑選而設定不發電的上限流量，但大原則皆為颱風豪雨可能引發明顯土砂運移現象期間，並不進行發電。
4	挪威小水力發電發展成熟，主要成功的條件為何？5-4 歐洲評估適合興建小水力發電廠的條件是否亦適用於臺灣？日本佐賀縣農村自籌資金興建設備，20 年貸款年限仍為負擔，如何有效率地回收成本？	感謝建議。根據最近一篇關於挪威小水力發電的國際報導(請查詢 How Norway produces hydropower with a minimal carbon footprint，由 Business Norway 期刊於 2023/3/15 刊出)，該文提到幾個關鍵，一則

項次	審查意見	回覆辦理情形
	而臺灣若要採日本貨櫃屋方式進行安裝，需注意是否符合土地管制法令。	挪威地形易在山坡地區產生湖泊，挪威有超過 20000 個面積大於 0.1km² 的湖泊，挪威多數小水力發電都興建在湖泊周邊，能讓小水力發電全年都啟動。二則挪威設置小水力發電多數都位於高海拔地區，利用地形達到小水力發電所需水頭條件，無須興建人為壩體提高水頭。三則挪威設置小水力發電採不入侵自然與降低破壞生態的概念，此觀念獲得當地居民認同且支持，也間接促使社區居民投入小水力發電。 由農村居民自主籌款興建小水力發電設施，要降低貸款額度或還款年限，需啟動「主管

項次	審查意見	回覆辦理情形
		單位與金融單位合作，提供低利貸款」，此條件在國際小水力發電報告也明確提及。但以日本農村案例，多半在 10 年內已經達到回本的目標，且每年還款金額分到每一戶參與的家庭，還款金額並不高。以本文稿於表 2-2-1 提到日本松熊村案例，興建成本 60 萬美元約為 9469.2 萬日幣，以 20 年分擔，且設定社區發展協會僅 10 戶參與，則每戶每年需還款金額為 473460 日圓。比對日本平均家庭年收入約為 524.2 萬日圓(2023 年調查資料)，負擔金額約為年收入金額 9.0%。 有效率回收小水力發電成

項次	審查意見	回覆辦理情形
		本，本研究建議設置地點考量是關鍵，尤其該地點應趨向每年無流量時間偏低，這也回到本研究於 5.1 節所提「河川級序 3 以上之野溪」較為合適。 日本採用貨櫃屋方式在台灣適用性，本研究認為貨櫃屋可降低興建過程對野溪環境的破壞，也可經由外表塗裝或裝飾降低環境突兀，且具有可移動性，對台灣山坡地農村是值得參考案例。
5	臺灣若缺少長期流量與泥砂監測資料，是否有較佳方式可評估電廠設置？	感謝建議，流量資料在小水力發電評估過程扮演年總發電度數及無法發電日數估算的角色，也因泥沙資料是懸浮質為主，目前多半小水力發電機組都可讓細顆粒懸浮質通過。

項次	審查意見	回覆辦理情形
		台灣山坡地內流量監測點位偏少，要發展小水力發電，本研究建議回到集水區地貌與河段位置考量，一則集水區地貌若有 80% 以上屬於植生覆蓋區域(判斷方式如本文稿第三章，採用 NDVI 或 Dynamic World 之土地利用)可確保降雨水量會有不少部分轉為入滲與水源涵養，確保野溪在旱季仍有水量；二則設置地點位於河川級序 3 以上的河段，確保能匯集水量的集水區面積足夠；三則上述都是推估資料，小水力發電需避免野溪無水日數偏多，因此建議可加入現場居民訪談，更瞭解該河段長年流量分佈情況。

項次	審查意見	回覆辦理情形
6	未來可朝示範站設置來驗證計畫評估方式的可行性。	感謝建議。依據本文稿建議結合此審查意見，於北台灣或東北台灣在降雨時間分佈上較為均勻，優先設置於此處設置示範站會是較佳考量。
7	計畫或可協助政府評估綠電合宜設置處。	感謝建議。本研究團隊樂於協助。