

裂隙岩層地下水資源供水潛勢與調配之可行性研究

林榮潤¹、李鳳梅¹、黃俊傑¹、周柏儀¹、許世孟²、林燕初³、黃智昭⁴

1. 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心研究員
2. 財團法人中興工程顧問社大地工程研究中心組長
3. 經濟部中央地質調查所資源地質組技士
4. 經濟部中央地質調查所資源地質組科長

摘 要

本研究近年在大甲溪、烏溪與濁水溪中上游流域所進行的調查與試驗，包括一系列的地質鑽探、孔內井測試驗、抽水試驗等工作，可初步瞭解臺灣山區地下水資源供水潛勢與可開發量。研究結果顯示，各地區的裂隙岩層供水潛能變異性大，整體而言在西部麓山帶、雪山山脈與脊樑山脈地質區，井出水量平均每年約為 2.2 萬、11.1 萬與 0.9 萬噸，而高潛勢供水場址每年可達 30 萬噸以上，可供應地方性用水或區域性的供水與調配之使用。因此，本研究建議未來應擴大山區相關整體水資源探勘之工作，掌握區域水文循環機制，有效地整合地面水與地下水之聯合運用，以提供取水設施規劃、調配與管理之參考。

關鍵詞：地下水資源、供水潛勢、聯合運用

The Feasibility Research on Potentiality and Allocation of Groundwater Resources in the Fractured Bedrock

Jung-Jun Lin¹、Feng-Mei Li¹、Chun-Chieh Huang¹、Po-Yi Chou¹、Shih-Meng Hsu²、
Yen-Tsu Lin³、Chi-Chao Huang⁴

1. Researcher, Geo-technical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.
2. Director, Geo-technical Engineering Research Center, Sinotech Engineering Consultants, Inc.
3. Associate Technical Specialist, Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs
4. Section Chief, Geological Resources Division, Central Geological Survey, Ministry of Economic Affairs

Abstract

To understand the potential and distribution of groundwater resources in the mountainous area, this study was done by the implementation of subsurface exploration technologies, including drilling, well logging, and pumping testing in the Jhuoshuei River, Wu River, and Dajia River watershed of Taiwan central mountainous region. The result shows that the well yield of each fractured bedrock has highly variability. In average, the annual well yields in the geological section of Western Foothills, Hsuehshan Range, and Central Range are approximately 22.9, 111.5 and 9.6 thousand tons, respectively; besides, above 300 thousand tons in highly potential sites. The estimated amount is sufficient to support the local and regional water supply, especially in the highly potential areas. Accordingly, in the future, a comprehensive hydrogeological investigation is necessary for making an appropriate policy on the conjunctive use of surface water and groundwater in the mountainous area.

Keywords: Groundwater resources, Potentiality, Conjunctive use optimization

一、概述

臺灣地區降雨時空分布不均，常有洪水、乾旱、山崩、土石流等天然災害，不僅威脅人民生命財產的安全，亦影響民生用水之穩定。以山區部落與社區為例，受限於地形、交通等因素，自來水供水不易，居民部落民生用水的問題多數至今仍未解決，包括水質與水量無法有效地掌握與管理，且常有污染與缺水事件的發生，導致山區部落居民飽受缺乏穩定的水源與衛生的安全之苦。因此，山區地下水資源探勘與供水潛勢評估係重要的課題之一。

然而，影響山區地下水蘊藏的因子有很多，尤其係岩層的裂隙與岩性等 (Hsu, et. al., 2012)，故各岩層的地質條件不同，亦影響區域的地下水資源蘊藏與供水潛勢。因此，本研究選定大甲溪、烏溪與濁水溪中上游流域，進行一系列的水文地質調查，瞭解各流域的裂隙岩層之地下水供水潛勢，進而探討水資源調配之可行性，冀期落實區域的永續發展與水資源保育之目標。

二、研究區域概述

2.1 地理位置與水文

大甲溪、烏溪、濁水溪流域位處臺灣中西部，發源於雪山、南湖大山、合歡山等高山，其分水嶺高峰多在 3,000 公尺以上，皆為臺灣中部重要的河川。

大甲溪年平均雨量約為 2,500 至 3,000 毫米以上，降雨集中於 5 至 9 月，約佔全年總降雨量之 75%。烏溪年平均年降雨量介於 1400 毫米至 2800 毫米之間，沿海拔升高有遞增之趨勢，故受季風及地形影響甚大，而雨季多集中在 5 至 9 月，大約佔全年雨量的 79%。濁水溪年平均降雨量 2,200 毫米，各地區的降雨量差異很大各月份降雨量差異極大，5 至 10 月為豐雨季，以 11 月至翌年 4 月為枯雨季，降雨佔全年之 70% 至 85%。

2.2 區域地質

本研究區受板塊作用造成地形崎嶇、山勢高聳，而主要的地層多呈南北狹長的帶狀分布。根據不同的沉積岩相、環境與構造，可劃分不同的地質分區：中央山脈地質區為第三紀亞變質岩區及變質岩區，可再分為雪山山脈分區與脊樑山脈分區，皆為始新世至漸新世的地層，前者岩性為硬頁岩、板岩與變質石英砂岩或間夾互層等，岩質較為堅硬且裂隙網絡發達；而後者岩性為變質程度較高的板岩、千枚岩與變質石英砂岩等，劈理發達且岩體較為破碎。西部麓山帶主要為沉積岩區，主要為中新世至更新世的地層，岩性有礫岩、泥岩、頁岩、砂岩或其互層等，沉積層理明顯。地質年代從脊樑山脈開始，向西部麓山地帶逐漸變新，而各分區亦分布許多斷層與褶皺等地質構造。

三、研究方法

3.1 場址評估與規劃

本研究蒐集地調所(2010, 2011, 2012)成果，為獲得各流域不同的地形與地質特徵之水文地質特性與地下水蘊藏量，故場址調查評估需考量環境影響因子，

例如有：集水區面積、高程、坡度、地表逕流、地下水流、岩石特性、地質構造、層面與弱面位態、裂隙密度、岩屑層厚度等條件，以及交通可即與安全無慮之公有地場址為主，故將蒐集的圖資進行 GIS 空間分析，如圖 1 所示，並透過現地查核，以篩選出 65 處合適之試驗場址，進行後續一系列的水文地質調查工作。

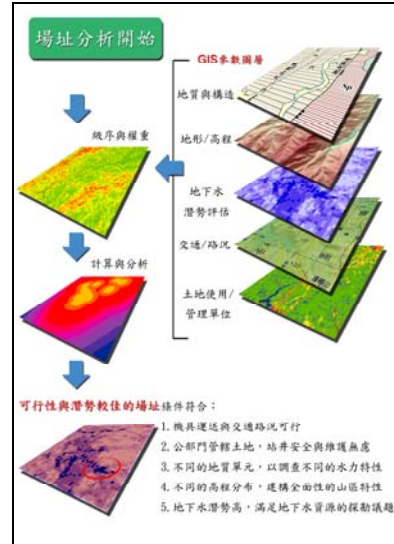


圖 1 場址評估與規劃

3.2 水文地質鑽探與岩心紀錄

各場址水文地質鑽探深度為 100 公尺，主要以 HQ 規格之自轉式鑽機，配合劈管取樣器、薄管取樣器及岩心取樣器採樣，運用水洗旋轉式鑽進全程取樣法進行作業，其所取得之岩心依序排放於岩心箱中，並拍攝高解析度彩色照片以茲建檔。

岩心紀錄乃採用一定標準化的鑑定方式，以得到具嚴謹且可信度較高的成果，其中未固結土岩材料係根據地質調查所「未固結沉積物之分類及地質鑽探岩心紀錄規範」；若屬固結岩層岩心，則依「工程地質探勘資料庫地質鑽探岩心紀錄規範」為原則進行描述。而主要的紀錄項目有：岩性、沉積構造、風化程度、裂隙、RQD 等，以作為地層判定與岩層分層之依據。

3.3 孔內井測與封塞水力試驗

臺灣受板塊構造作用的影響，區域的地質變化複雜，使得所對應的水文地質特性也隨之不同，透過孔內井測試驗與封塞水力試驗，以獲取水文地質參數，除可降低水文地質的不確定性外，亦提升了後續模式在分析上之準確度。試驗項目有：孔內裂隙岩體位態調查、孔內井測調查、孔內波速調查、孔內地下水流速與流向調查，以及封塞水力試驗。調查方式係將各式探測儀置於鑽孔中，並在吊放及拉升過程測錄不同物理訊號來判定地層特性。

本研究欲探討裂隙岩層的水力特性，因此在各場址透過孔內井測與封塞試驗，以尋找利於岩層地下水蘊藏之區段，其探測所得之各項參數可結合岩心紀錄，進行後續相關水文地質分析。

3.4 鑿井作業與抽水試驗

完成上述的試驗與調查成果，可提供淺井的抽水

試驗井之井體設計與規劃，包括有鑿井的深度與開篩的位置等，以達到最佳井體效能，每處場址預計深度約 50 公尺，其範圍主要包含岩屑層，以及其下的裂隙發達連通的裂隙岩層為主。

本研究相關鑿井作業流程參照 ASTM D 5092 等規範執行，主要有鑽鑿、埋管、濾料填充及封層、洗井擴水等，而井體部分可分為井管、篩（濾）管與沉泥管三部份。其建置的觀測井井體尺寸與材質為 6 吋的 PVC（聚氯乙稀）SCH80，完成井體建置後，各抽水井依據水利署地下水觀測井建置與維護作業規範（2004）之標準進行現地抽水試驗，以獲得場址的井出水量與導水係數，進而瞭解不同的地層之地下水資源產能。另外，為分析現地抽水試驗所獲得之試驗資料，採用數值分析程式（AQTESOLV）自動進行理論曲線與試驗觀測資料匹配工作，匹配過程係找出某一理論模式與觀測資料具最小誤差，求解過程以自動化行之，故可迅速利用不同之解析解得到對應之水力參數值，取代傳統利用手動之圖解法。

3.5 地下水產能分級

Struckmeire 與 Margat(1995)提出透過導水係數、透水係數、井出水量或比出水量等定量參數，可劃分出高、中、低與微量等 4 個地下水產能等級，如表 1 所示。

本研究則將各地層場址抽水試驗所獲得的井出水量，進行地下水產能等級劃分。此外，各地層乃依據地質分區與岩性整合各類型的水文地質單元，如表 2 所示，在西部麓山帶地質區有(1)WFGR：火炎山礫岩為主、(2)WFSM：砂岩與泥岩互層為主的層、(3)WFSH：頁岩為主的層、(4)WFSS：砂頁岩互層的層；雪山山脈地質區的有(5)HRAR：硬頁岩為主的層、(6)HRQS：變質石英砂岩為主的層、(7)HRSA：石英岩與板岩互層的層、(8)HRSL：板岩為主的層；脊樑山脈地質區有(9)BRSP：板岩與千枚岩的層。因此，透過各水文地質單元的地下水產能分級，可瞭解研究區的地下水資源潛勢與分布之情形。

四、結果與討論

4.1 地下水資源供水潛勢

由圖 2 可知，研究區各場址的井出水量之空間分布情形，各場址的井出水量因不同的區域、地形與地質而有所差異，整體上地下水資源較多的區域多分布在變質岩區。透過統計分析圖 3 可知，將各水文地質單元的平均井出水量依大小排序可發現，雪山山脈變質岩區所劃分出的水文地質單元較多，其次為西部麓山帶的沉積岩，其井出水量可提供地方性與區域性的供水；而各分區岩性主要為泥質成分較高的頁岩、硬頁岩與千枚岩之岩層，其井出水量則較低，只能提供局部地方供水。

因此，臺灣山區地下水資源可能主要的蘊藏區為雪山山脈的變質岩與西部麓山帶砂頁岩互層的層，可開發出地方性或區域性供水的水資源量，係臺灣地區重要的地下水資源蘊藏區與開發潛勢區，值得相關

單位關注並作好地下水的保育工作。

4.2 區域水資源調配

在表 1 地下水產能等級劃分，區域性與地方性供水等級，換算成供水量分別為每年約有 30 萬噸與 3 萬噸的水量，可供區域與地方性的調配使用。表 3 為本研究區試驗成果之各場址水資源可調配參考量，其中南投的鯉魚潭站與地利站，供水量較高，達到區域性供水等級。鯉魚潭站位於鯉魚潭風景區內，鄰近有許多觀光、民宿、農業等目的事業，可提供旱季之區域水資源調配，而地利站則為於地利村，村內有部落居民、學校等，由於地利村多使用簡易自來水或河水，有衛生疑慮之考量，且估水期間可能無穩定的水源，故地下水資源可提供相對穩定且乾淨的水源。其它地區，如：惠蓀林場、八仙山樂園、武陵農場等觀光區，以及仁和、南豐、石角、博愛、東源等村落，供水量亦較多，可作為地方性供水等級。

表 1 地下水產能等級劃分

| 含水層分類 | 地下水資源產能等級與簡稱 | 導水係數 (m ² /mm) | 透水係數 (m/s) | 井出水量 (L/min) | 比出水量 (cmh/m) |
|---------|---------------------------------------|---------------------------|------------|--------------|--------------|
| Class 1 | 高(H): 區域性供水, 抽水量可提供區域與灌溉所需。 | >0.05 | >4E-5 | >600 | >3.6 |
| Class 2 | 中量(M): 地方性供水, 抽水量可提供小社區與地方灌溉所需。 | 3E-3~0.05 | 2E-6~4E-5 | 60~600 | 0.4~3.6 |
| Class 3 | 低(L): 部分地區較佳(L): 局部地方性供水, 抽水量可提供個人所需。 | 3E-5~3E-3 | 2E-8~2E-6 | 0.6~60 | 4E-3~0.4 |
| Class 4 | 微量(P): 地下水資源缺乏。 | <3E-5 | <2E-8 | <0.6 | <4E-3 |

資料來源：修改自 Struckmeire 與 Margat(1995)

表 2 本研究區水文地質單元

| 地質分區 Geological unit | 水文地質分帶 Hydrogeologic Belt | 地質年代 Geotime | 地層名稱 Stratum | 水文地質單元 Hydrogeologic Unit | 簡稱 Code | | | |
|-------------------------|------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---------------------------------|------------|------------------------|------------------------|------|
| 各分區 | 各分帶 | 全新世 Holocene | 沖積層(a)、階地堆積層(1)、 盆地堆積(b)等未固結岩層 | Unconsolidated Rock | UCRCK | | | |
| III. 西部麓山帶地質區 | 西部麓山帶(WF) | 更新世 Pleistocene | 紅土台地堆積層(h) | WF Gravel | WFGR | | | |
| | | | 火炎山礫岩(Tkh) | | | | | |
| | | | 頭崙山層 香山砂岩(Tks) | | | | | |
| | | 上新世 Pliocene | 卑南層(Cl) | WF Sandstone and Mud | WFSM | | | |
| | | | 錫水頁岩(Cs) | WF Shale | WFSH | | | |
| | | 中新世 Miocene | 桂竹林層(Kc) | WF Sandstone and Shale | WFSS | | | |
| | | | 南莊層(Nc) | | | | | |
| | | | 福隆圍層(Ff) | | | | | |
| | | | 猴洞坳層(Hd) | | | | | |
| | | | 南港層 (和社層) | | | 深坑砂岩(Sk) | WF Shale | WFSH |
| | | | 樟湖坑頁岩(Ch) | | | | | |
| | | | 石底層 | | | 石門層(Sm) | WF Sandstone and Shale | WFSS |
| | | 大坑層 | 炭寮地頁岩(Tl) | WF Shale | WFSH | | | |
| 十四股段(Tns) | WF Sandstone and Shale | | WFSS | | | | | |
| 漸新世 Oligocene | 粗坑層(Ts) | WF Shale | WFSH | | | | | |
| Iva-1. 雪山山脈 西翼地質區 | 雪山山脈(HR) | 漸新世 Oligocene | 水長流層(Sc) | HR Argillae | HRAR | | | |
| | | | 梅子林段(PIm) | HR Quartzic Sandstone and Slate | HRQS | | | |
| | | 始新世 Eocene | 白冷層 | | | 裡冷段(Pl) | HR Sandstone and Slate | HRSA |
| Iva-2. 雪山山脈 東翼地質區 | 雪山山脈(HR) | 漸新世 Oligocene | 眉溪砂岩(Ms) | HR Slate | HRSL | | | |
| | | | 佳陽層(Cy) | HR Quartzic Sandstone and Slate | HRQS | | | |
| | | 玉山主山層(Ys) | | | | | | |
| | | 始新世 Eocene | 達見砂岩(Tc) | | | HR Sandstone and Slate | HRSA | |
| | | 十八重溪層(Sp) | | | | | | |
| Ivb. 脊樑山脈 地質區 | 脊樑山脈(BR) | 中新世 Miocene | 蘆山層(Ls) | BR Slate and Phyllite | BRSP | | | |
| | | | 大禹嶺層(Ty) | | | | | |
| | | | 黑岩山層(Hs) | | | | | |

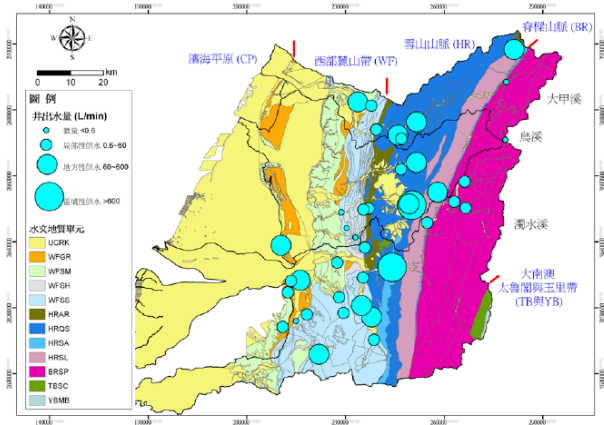


圖 2 研究區各場址井出水量之空間分布

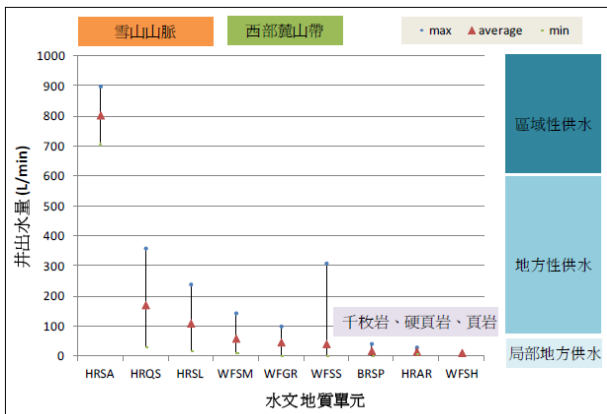


圖 3 各水文地質單元之地下水供水潛勢分析

表 3 本研究區各場址水資源可調配參考量

| 場址 | 站名 | 噸/年 | 場址 | 站名 | 噸/年 |
|--------------|-----|---------|-----------|------|--------|
| 區域性供水等級(H) | | | | | |
| DHW-15 | 鯉魚潭 | 473,040 | DHW-03 | 互助 | 15,768 |
| BH(W)-11 | 地利 | 371,426 | BH(W)-15 | 山峰 | 11,984 |
| 地方性供水等級(M) | | | | | |
| DHW-04 | 惠蓀 | 189,216 | BH(W)-14 | 坪頂 | 11,390 |
| BH(W)-25 | 仁和 | 162,936 | CH(W)-19 | 法治 | 9,461 |
| CH(W)-10 | 八仙山 | 157,680 | CH(W)-18 | 奧萬大 | 6,307 |
| DHW-05 | 南豐 | 126,144 | BH(W)-09 | 興隆 | 6,228 |
| DHW-14 | 蜈蚣 | 126,144 | BH(W)-01 | 清水 | 6,134 |
| CH(W)-02 | 石角 | 75,686 | DHW-13 | 南港 | 5,256 |
| CH(W)-08 | 博愛 | 65,700 | BH(W)-02 | 車埕 | 4,247 |
| BH(W)-21 | 羅娜 | 56,208 | BH(W)-16 | 瑞龍 | 3,574 |
| DHW-08 | 東源 | 52,560 | DHW-12 | 大石 | 3,154 |
| BH(W)-19 | 內茅埔 | 46,410 | BH(W)-06 | 內湖 | 3,048 |
| CH(W)-13 | 武陵 | 37,843 | CH(W)-03 | 中坑國小 | 1,445 |
| BH(W)-03 | 中和 | 32,987 | BH(W)-28 | 湖本 | 1,156 |
| 局部地方性供水等級(L) | | | | | |
| CH(W)-16 | 春陽 | 22,075 | DHW-09 | 清水 | 894 |
| BH(W)-23 | 和社 | 21,024 | CH(W)-15 | 環山 | 473 |
| CH(W)-11 | 裡冷 | 18,922 | CH(W)-17 | 桶頭 | 315 |
| CH(W)-17 | 親愛 | 18,922 | DHW-06 | 武嶺 | 315 |
| BH(W)-29 | 溪頭 | 17,029 | 微量供水等級(P) | | |
| | | | DHW-10 | 和興 | 105 |
| | | | DHW-11 | 福盛 | 105 |

五、結論

各地區的裂隙岩層供水潛能變異性大，整體而言雪山山脈變質岩區較多，其次為西部麓山帶的砂頁岩互層之地層，係為臺灣山區地下水資源可能主要的蘊藏區潛勢區，可開發出地方性或區域性供水的水資源量，值得相關單位關注並作好地下水的保育工作。尤其係南投的鯉魚潭站與地利站，供水量每分鐘高達 600 公升以上，若有穩定的補注來源，其井場每年約

有 30 萬噸以上的供水量，符合區域性供水等級，其它地區，如：惠蓀林場、八仙山樂園、武陵農場等觀光區，以及仁和、南豐、石角、博愛、東源等村落，供水量亦較多，可作為地方性供水等級。因此，本研究建議未來應擴大山區相關整體水資源探勘之工作，掌握區域水文循環機制，有效地整合地面水與地下水之聯合運用，以提供取水設施規劃、調配與管理之參考。

六、參考文獻

- Hsu, S.M., Lin, J.J., Chen, N.C., Lin, Y.T., Huang, C.C. (2012), "Identification of Groundwater Potential Site in Taiwan Mountainous Region", American Geophysical Union's 45th annual Fall Meeting, San Francisco of U.S.A., December 3rd-7th.
- Struckmeier, W. F. and Margat, J. (1995), "Hydrogeological Maps - A Guide and a Standard Legend: Hannover. Germany, International Contributions to Hydrogeology", IAH publication, v. 17, Verlag Heinz Heise.
- 經濟部中央地質調查所 (2010)，臺灣山區地下水資源調查調查研究整體計畫-臺灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測井建置 (1/4)。
- 經濟部中央地質調查所 (2011)，臺灣山區地下水資源調查調查研究整體計畫-臺灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測井建置 (2/4)。
- 經濟部中央地質調查所 (2012)，臺灣山區地下水資源調查調查研究整體計畫-臺灣中段山區地下岩層水力特性調查與地下水位觀測井建置 (3/4)。
- 經濟部水利署 (2004)，規劃、設計及監造「93 年度地下水觀測站井建置維護計劃」與地下水試驗分析。