

山區岩層抽水試驗分析及應用

—以台灣西部中段山區為例

黃俊傑* 許世孟** 林燕初*** 黃智昭****

摘要

台灣以往抽水試驗多著重在平原地區，對於山區抽水試驗相關研究甚少。但本研究於台灣西部中段山區岩層施做試驗，建立適用於山區岩層之分析方式，以了解岩層特性及水文地質參數，參數包括比出水量（ S_y ）、導水係數（ T ）、單位洩降出水量（ Q/s ）。研究成果不僅建立山區岩層抽水試驗之特有分析模式，更確立其數據之代表性，並建立出單位洩降出水量與導水係數關係之經驗公式— $T = 0.2244(Q/s)^{1.3152}$ ，且其關係呈現良好正相關（ $R^2=0.833$ ）。同時，此經驗公式有助於日後利用導水係數即可評估該區域之地下水資源蘊含量及地下水流動行為，可作為後續相關研究、分析與模擬之參考。

關鍵字：導水係數（Transmissivity T ）、比出水量（Specific Yield S_y ）、單位洩降出水量（ Q/s ）

一、前言

過去於平原區施作抽水試驗時，多非固結的岩層中施作，地下水儲存在顆粒間的孔隙中，已發展成熟的理論模式進行試驗資料之解析工作（Kruseman and de Ridder, 1990），然而山區基盤岩層主要由固結岩層所組成，且表層可能覆蓋一些未固結之地質材料，地下水則主要蓄積於岩石裂隙與顆粒間的孔隙中，其所組成的含水層特性相對於以多孔隙介質為主之平原區，則大為不同，因此山區抽水試驗資料解析所採所用之理論應有所區別。此外，山區岩層進行抽水試驗時，易受抽水量過小及地形、地質構造造成之邊界條

件等多種因素影響干擾，在資料分析上也增加更多難題。有鑑於此，回顧前人研究，尋求可套用於山區岩層環境之理論模式，且模式須考量遭遇抽水試驗時可能發生之影響因子，若能夠精確的估算出山區岩層之水文地質參數，則可進一步評估地下水在山區裂隙岩體之流動特性，對未來地下水水資源進行開發利用會是個重大的助益。

本研究將於山區岩層 22 處場址進行單井及複井抽水試驗，說明其結果分析討論及差異，並利用數值分析程式（AQTESOLV）自動進行理論曲線與試驗觀測資料匹配工作，選用適合山區岩層環境之模擬理論，推估相關水文地質參數（導水係數、比出水量等），並根據前人（Sandra et

* 中興工程顧問社大地工程研究中心助理研究員

** 中興工程顧問社大地工程研究中心水文地質組組長

*** 經濟部中央地質調查所資源地質組薦任技士

**** 經濟部中央地質調查所資源地質組科長

al., 2011) 文獻，透過單位洩降出水量與導水係數關係建立相關經驗公式，且比較國外類似案例，討論其關聯性之代表意義。

二、研究區域概況

本研究區域為台灣中段山區的大甲溪、濁水溪及烏溪流域，於不同的地層與高程，布設共 22 處抽水試驗調查場址，各場址分布如圖 1 所示。

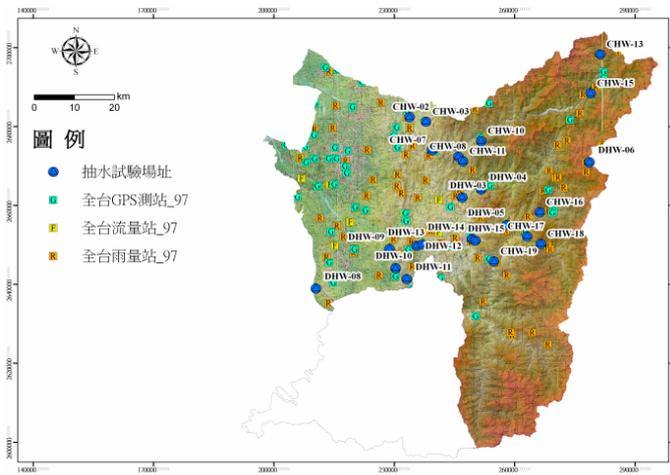


圖 1 台灣西部中段山區研究區地形圖

水文部分，大甲溪流域位處台灣中西部，東西長、南北窄，狀似橫臥如意，流域北、東、南三側分水嶺多由標高超過 2,000 公尺之陡峭山脊所連成；而濁水溪流域，最高峰玉山幾達 4,000 公尺；烏溪發源於中央山脈合歡山西麓，烏溪之上游的河流有二，北港溪與南港溪，分別位於南北兩側。

雨量方面，大甲溪為台灣中部之重要河川，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%，而濁水溪是台灣最長之河川，濁水溪流域年平均降雨量 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%；烏溪歷年平均年降雨量介於 1400mm 至 2800mm 之間，降雨量有沿海拔升高而遞增，受季風及地形影響甚大。此外，該流域降雨量的時間分布，一年之中主要的雨季多集中，在 5 至 9 月，大約佔全年雨量的 79%，而 6 月至 8 月降雨量更是佔了整年總平均降雨量 57%。

地質方面，各流域山區涵蓋西部麓山帶與中央山脈地質區，地層分別為沉積岩與變質岩，其間分布許多斷層與褶皺等地質構造。流域內之主要地層，其生成年代大致由東向西逐漸年輕，藉由武陵斷層（關刀山斷層或地利斷層）、水長流斷層、大茅埔-雙冬斷層、車籠埔斷層及三義斷層，可將研究區域分為五大區塊，而各地層分類詳列於圖 2。

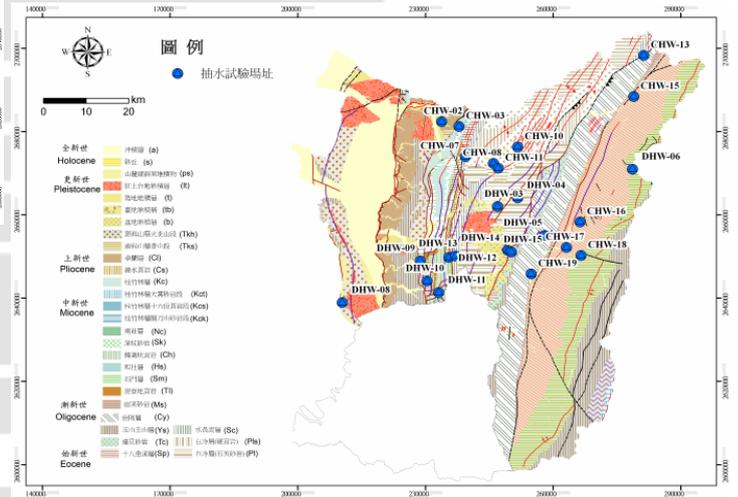


圖 2 台灣西部中段山區研究區區域地質圖

三、抽水試驗及分析方法

本研究分別於研究區域內之 22 處試驗場址進行單井及複井定量抽水試驗，試驗後利用數值模擬分析程式進行試驗資料分析，目的在了解山區岩層水文地質特性及估算水文地質參數，試驗資料分析流程圖如圖 3，分析洩降資料時將考慮遭遇之影響因子，並選用適當的理論模式進行分析，最後將結果及應用彙整於下節。



圖 3 山區岩層抽水試驗資料分析流程圖

(一) 資料分析之理論模式

本研究採用 HydroSOLVE 公司發展之 AQTESOLV 數值分析程式 (Duffield, 2004) 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。

山區抽水試驗過程中常遇見之影響因子，包含部分貫入井之影響、井管儲蓄效應、水井損失、水文地質邊界以及初期抽水量的不穩定，一般於平原區所使用之分析模式 Theis 理論已不適用於山區，故選擇理論需考量上述影響因子，並符合山區大都利用裂隙作為水流通路徑之訴求，綜合以上所需，本研究回顧前人文獻後，選擇使用可適用於具有裂隙存在之地層且唯一有考量諸多影響抽水試驗因子之 Moench (1997) 所提出理論進行匹配分析。

Moench (1997) 理論是在自由含水層的條件下，以下方控制方程式所推導：

$$\frac{\partial^2 h}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h}{\partial r} + \frac{K_z}{K_r} \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = \frac{S_s}{K_r} \frac{\partial h}{\partial t}$$

式中 h 為水利水頭； r 為洩降處與抽水點水平距離； K_z 及 K_r 分別為垂直、水平方向水力傳導係數； S_s 為蓄水係數。並利用拉普拉斯轉換求解 (Laplace Transform Solution)，其中假設抽水井為部分貫入，而且考量井管儲蓄效應及水井損失 (薄壁效應)，惟非線性水井損失仍無法直接整合至該理論的水井函數之中，應用分析時非線性水井損失則須額外考量，該理論將可精確評估含水層之特性與估算水文地質參數之導水係數 (Transmissivity T)、蓄水係數 (Storage S)、單位洩降出水量 (Specific Capacity S_c) 以及比出水量 (Specific Yield S_y) 等。

(二) 抽水試驗分析方法

本研究在分析數據時分為單井定量抽水試驗以及複井定量抽水試驗兩種類型進行討論，單井抽水試驗為觀測抽水井內洩降變化；而複井抽水試驗為觀測位於抽水井旁之觀測井內之洩降變化，先觀察其洩降數據，再利用數值分析程式 (AQTESOLV) 並選擇 Moench (1997) 理論進行分析，其分析方法如后：

1. 單井定量抽水試驗

進行單井定量抽水試驗數據分析時，先考量井管儲蓄效應之干擾，接著修正水井損失影響，若此兩種因素複合影響試驗數據甚鉅，則盡量避免使用前段數據進行分析，而以中、大時間段為主要匹配區段；此外，本研究主要討論在山區施作之抽水試驗，山區之水文地質邊界較易遭遇鄰近溪流或傾斜地質構造而形成補注或阻隔，而當定量抽水試驗出現水文地質邊界影響時，試驗後段資料將出現其特徵，盡量不使用受到水文地質邊界影響之數據進行分析，因此當遭遇水文地質邊界影響時通常使用前段資料進行分析匹配工作。綜合上述內容，利用數值分析程式進行匹配工作後，應用 Moench (1997) 理論於定量抽水試驗資料，針對井管儲蓄效應、水井損失、水文地質邊界以及初期抽水量變化進行討論，舉例分析匹配方式如圖 4。

四、分析結果與應用

本研究利用適用於山區岩層之 Moench (1997) 理論模式分析現地數據後，探討其結果數據代表意義及應用方式，首先討論單井及複井抽水試驗結果之差異性，接著利用複井抽水試驗之洩降資料推估出不同山區岩層之比出水量，最後透過單位洩降出水量與導水係數之關係獲得經驗公式，並相較國外案例，討論其關係。

(一) 單複井抽水試驗之差異

本研究利用數值程式分析試驗水位洩降數據，估算出各項水文地質參數，列舉數站井參數如表 1，複井試驗數據近乎匹配良好，受到各項影響抽水試驗因素之影響較小。本研究更進一步列舉數站單井及複井試驗之分析成果差異進行分析比對，如圖 6 及圖 7，由圖中可看出，由抽水井數據推求得到之導水係數 T 值皆略小於由觀測井數據所推求，研判為抽水井受到水井損失之非線性擾流影響，而使得利用抽水井洩降水位分析將低估井之導水係數；相同的因素，導致其抽水井數據所求得之蓄水係數也皆略大於由觀測井數據所求得參數。討論此影響可明顯了解到複井抽水試驗所帶來的優勢，可作為日後抽水試驗規劃工作之參考。

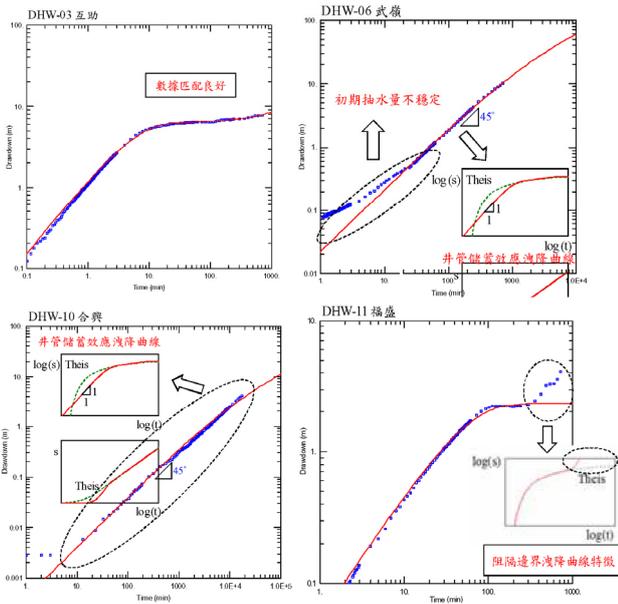


圖 4 定量抽水試驗資料分析成果 (單井)

2. 複井定量抽水試驗

進行複井定量抽水試驗之優勢在於可消弭或減少其中幾項影響因子之干擾程度，主要可以避免的因素有部分貫入井以及水井損失兩種影響，如此一來可較精確評估含水層之特性與估算水文地質參數之導水係數 (Transmissivity T)、蓄水係數 (Storage S)、單位洩降出水量 (Specific Capacity Sc) 以及比出水量 (Specific Yield Sy)。舉例分析匹配方式如圖 5。

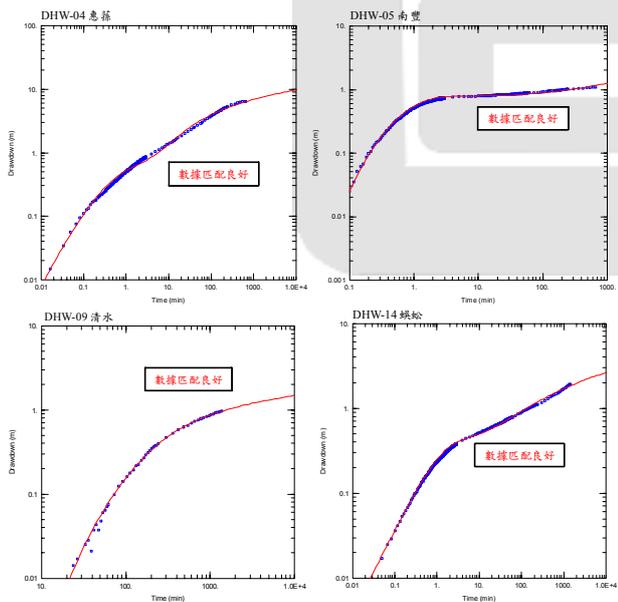


圖 5 定量抽水試驗資料分析成果 (複井)

表 1 複井定量抽水試驗之數據結果

站號	抽水井與觀測井距離(m)	抽水量 (L/min)	T(觀測井) (m ² /min)	T(抽水井) (m ² /min)	蓄水係數 S(觀測井)	蓄水係數 S(抽水井)
DHW-04	5.46	360	2.295×10 ⁻²	1.69×10 ⁻²	1.655×10 ⁻⁵	3.162×10 ⁻⁵
DHW-05	5.6	240	8.406×10 ⁻²	7.077×10 ⁻²	9.498×10 ⁻⁵	9.476×10 ⁻⁵
DHW-09	4.18	1.7	4.304×10 ⁻⁴	2.713×10 ⁻⁴	1.494×10 ⁻⁵	8.015×10 ⁻⁵
DHW-14	3.15	240	4.488×10 ⁻²	1.906×10 ⁻²	1.259×10 ⁻⁵	7.244×10 ⁻⁵
DHW-15	5.9	900	7.027×10 ⁻¹	1.249	3.502×10 ⁻⁵	1.923×10 ⁻⁶

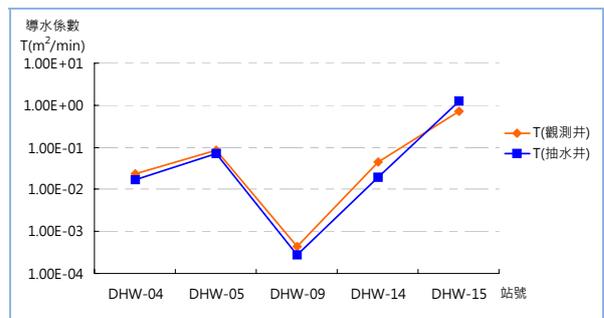


圖 6 抽水井與觀測井之導水係數比較圖

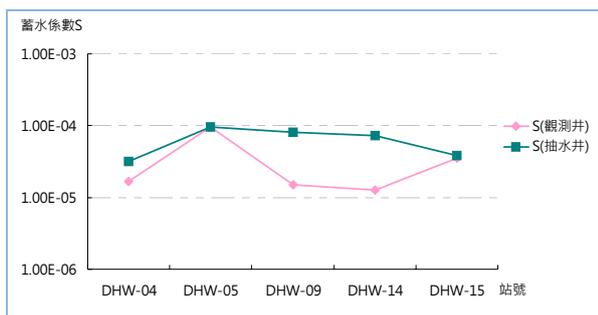


圖 7 抽水井與觀測井之蓄水係數比較圖

(二) 比出水量與山區岩層岩性關聯性

比出水量之定義為在飽和土層中，孔隙內土壤水經由重力排出之水體積與該飽和土層體積之比，以百分比表示之。飽和土層中之孔隙全部被水所填滿，想像該土層孔隙的水可以因重力作用而自由地流出，則流出的水的體積與原土層的全部體積（包括土壤顆粒與孔隙）之比，即為比出水量，如圖 8 及圖 9。

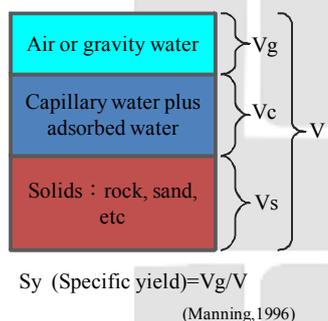


圖 8 比出水量示意圖

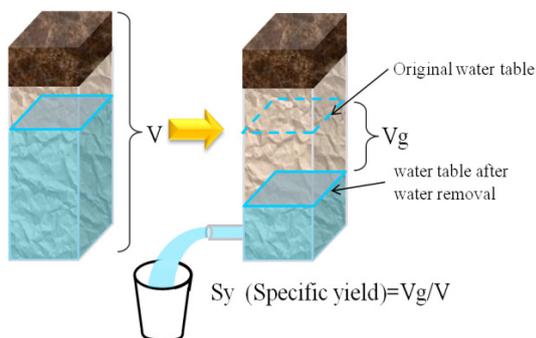


圖 9 比出水量示意圖

本研究執行複井抽水試驗，得到五處站井之比出水量，詳列於表 2，結果顯示除 DHW-09 的

比出水量為 10^{-3} 數量級外，其餘各井的比出水量在 10^{-2} 數量級左右，並加入開節區段岩性討論，可得知位於本研究區域岩層各岩性之比出水量為—變質砂岩 > 砂岩 > 板岩 > 硬頁岩 > 泥質砂岩（表 2）。未來繼續蒐集並納入更多之數據資料後，可進一步完整建立由各岩性與其比出水量之關係。

表 2 複井抽水試驗之比出水量與相關岩性表

站號	抽水量 (L/min)	導水係數 T (m ² /min)	比出水量 Sy	開節區段岩性	地質單元 (地質圖)
DHW-04	360	2.295×10^{-2}	1.234×10^{-2}	硬頁岩夾細砂岩	白冷層東卯段
DHW-05	240	8.406×10^{-2}	6.761×10^{-2}	板岩	佳陽層
DHW-09	1.7	4.304×10^{-4}	3.148×10^{-3}	泥質砂岩	深坑砂岩
DHW-14	240	4.488×10^{-2}	8.287×10^{-2}	石英岩夾硬頁岩	白冷層
DHW-15	900	7.027×10^{-1}	9.848×10^{-2}	石英岩、板岩	十八重溪層

一般來說，比出水量主要應用於自由含水層的分析討論上，本研究之區域大部分為山區構造，而且山區淺層地層大都為自由含水層，因此，比出水量對於山區含水層進行抽水試驗之水位洩降行為有相當大的影響；不同的地質單元所代表的比出水量也有所差異；比出水量不但可協助了解含水層之洩降行為，利用線性模式輔助分析還可預測地下水位（丁澈士，1995）；若使用地下水位變動法與該含水層之比出水量可推估出此含水層之地下水補注量（Crosbie *et al.*, 2005），再者龔文瑞等人（2007），利用確切之比出水量結合消退曲線位移法與地下水位變動法將更精準的評估出該地層之地下水補注量。

(三) 單位洩降出水量與導水係數關聯性

單位洩降出水量（Specific Capacity）為研判該水井是否保有良好井體性能的一種指標，也可評估一區域含水層之出水能力；本研究探討單位洩降出水量與導水係數（T）之關聯性與經驗公

式，參照前人文獻，最早由 Thomasson 等（1960 年）利用西姆公式（Dupuit-Thiem Steady-State Equation）推導得到單位洩降出水量與導水係數之相關方程式；接著 Theis（1963 年）利用泰斯不平衡公式（Theis Nonequilibrium Equation）推求其經驗法則。

Sandra 等人於西元 2011 年蒐集整理前人在各種地層試驗之文獻及數據，推求得到單位洩降出水量與導水係數關係之最佳經驗公式為：

$$T = \alpha (Q/s)^\beta$$

並將其各文獻數據代入經驗公式整理於表 3，本研究參考其方式，將台灣西部中段山區所進行抽水試驗所得到的數據結果（如表 4）套入經驗公式，可得代表此區域之參數 α 、 β 值，並得到完整經驗公式為 $T = 0.2244(Q/s)^{1.3152}$ ，而其關係圖如圖 10，圖中數據關係呈現為良好正相關（ $R^2=0.833$ ）。

表 3 整合不同文獻所建立於不同地層之單位洩降出水量與導水係數經驗公式表

Reference and Type of Aquifer	Relation (m ² /s)	Correlation Coefficient R ²	Number of Wells
Razack <i>et al.</i> , Alluvial	$T=0.36 (Q/s)^{0.67}$	0.63	215
Huntley <i>et al.</i> , Fractured granite	$T=0.93 (Q/s)^{1.18}$	0.89	125
El Naqa <i>et al.</i> , Carbonate	$T=0.7 (Q/s)^{0.917}$	0.95	237
Sayed <i>et al.</i> , Karstic	$T=2.06 (Q/s)^{1.13}$	0.85	96
Mace, Confined karst	$T=1.89 (Q/s)^{1.08}$	0.89	103
Fabbri <i>et al.</i> , Crystalline	$T=1.88 (Q/s)^{1.07}$	0.97	/
Jalludin <i>et al.</i> , Basalt	$T=1.80 (Q/s)^{0.938}$	0.82	87
Hamm <i>et al.</i> , Volcanic	$T=0.28 (Q/s)^{0.89}$	0.94	117
Razack <i>et al.</i> , Crystalline	$T=10.38 (Q/s)^{1.30}$	0.88	154
Yidana <i>et al.</i> , Sedimentary	$T=1.80 (Q/s)^{1.075}$	0.83	41
Srivastav <i>et al.</i> , Alluvial	$T=0.48 (Q/s)^{0.66}$	0.59	13
Rotzoll <i>et al.</i> , Volcanic	$T=1.57 (Q/s)^{1.002}$	0.87	113
Verbovšek <i>et al.</i> , Dolomite	$T=2.39 (Q/s)^{1.07}$	0.80	48

(Sandra.*et al.*, 2011)

表 4 台灣西部中段山區之導水係數與單位洩降出水量數據表

井號	導水係數 T (m ² /day)	單位洩降出水量 Q/s (m ² /day)
CHW-02	14.90	68.42
CHW-07	0.82	4.45
CHW-08	15.42	40.91
CHW-10	1270.94	400.00
CHW-11	11.33	4.34
CHW-13	1.56	5.49
CHW-16	6.46	7.22
CHW-17	0.71	3.49
CHW-18	0.93	0.98
CHW-19	0.06	1.83
DHW-03	0.37	5.54
DHW-04	42.48	65.62
DHW-05	121.05	27.87
DHW-06	0.00	0.09
DHW-08	2.14	10.40
DHW-09	0.79	0.31
DHW-11	0.00	0.08
DHW-12	0.15	0.58
DHW-13	0.71	0.71
DHW-14	64.63	19.64
DHW-15	1011.89	1424.18

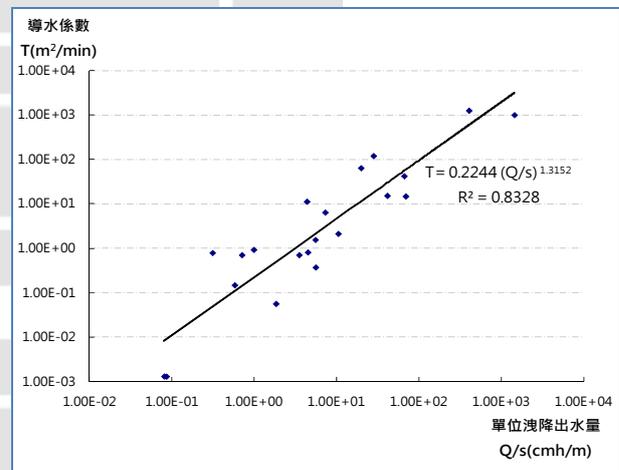


圖 10 單位洩降出水量-導水係數圖

Robert E. Mac（2000 年）將前人所建立之趨勢關係線彙整於圖 11，圖中各趨勢線來自不同地質條件場址試驗所獲得之結果，本研究將台灣西部中段山區所建立之關係，一起繪製於圖中，且比較各差異性，結果顯示每種岩性有其獨立的經驗公式，探討其各趨勢線之斜率與試驗場址岩性之關係，本研究發現相同岩性具有類似的趨勢線

斜率，其中 (3) Huntley and Others (1992) 以及 (12) Thomasson and Others (1960) 兩篇文獻內容與本研究同樣探討以裂隙為地下水主要流通道徑之岩層，且趨勢斜率相當類似，同時也驗證本研究抽水試驗成果與前人研究具一致性，未來可建立更完整代表台灣山區的經驗公式，以利相關研究需求使用。

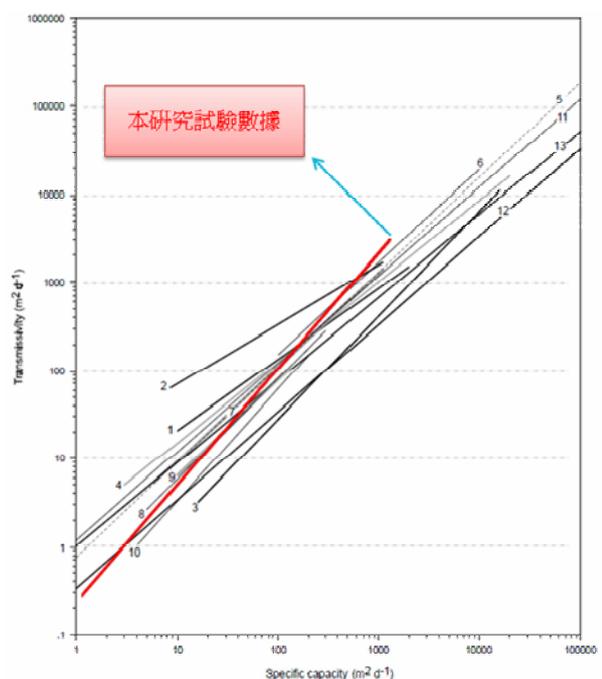


圖 11 各文獻經驗公式之趨勢關係比較圖

- (1) Eagon and Johe (1972) for a Carbonate Aquifer
- (2) Razack and Huntley (1991) for a Heterogeneous Alluvial Aquifer
- (3) Huntley and others (1992) for a Fractured Hard Rock Aquifer
- (4) El-Naqa (1994) for a Fractured Carbonate Aquifer
- (5) Mace (1997) for a Karstic Aquifer in Texas
- (6) Mace (1997, this paper) for a Karstic Aquifer in Florida
- (7) Fabbri (1997) for a Fractured Carbonate Aquifer
- (8) This paper for a Sandstone Aquifer in North-Central Texas (Trinity aquifer)
- (9) This paper for a Sandstone Aquifer in North-Central Texas (Paluxy aquifer)
- (10) This paper for a Sandstone Aquifer in North-Central Texas (Woodbine aquifer)
- (11) The Thomasson and others (1960) Approach for Alluvium
- (12) The Thomasson and others (1960) Approach for Fractured Hard Rocks
- (13) The Theis and others (1963) Approach for an Assumed Value of C' of $10^5 \text{ d m}^{-2} C'$ (Sensitivity Parameter)
 $= t/r_w^2 S$, t =抽水時間； r_w =井徑； S =蓄水係數

五、結 論

本研究探討山區岩層進行抽水試驗時之水位洩降行為，使用適合於山區岩層之分析方式，並考量山區所遭遇影響因子，建立完全針對山區岩層施作抽水試驗之分析模式，研究成果不僅了解複井所能避免部分影響因子之優勢，並能推估出比出水量與各岩性之關係—變質砂岩 > 砂岩 > 板岩 > 硬頁岩 > 泥質砂岩；而透過單位洩降出水量與導水係數的良好正相關係，推導出具參考意義之經驗公式；本研究結果均有助於評估區域之地下水水資源蘊含量及地下水於山區岩層裂隙岩體間之流動行為，未來繼續蒐集並納入更多之數據資料後，整合山區相關之水文地質參數，可作為後續相關研究、分析與模擬之參考。

參考文獻

- Agarwal, R.G. (1980) A New Method to Account for Producing Time Effect When Drawdown Type Curves are Used to Analyze Pressure Buildup and Other Test Data, Soc. Pet. Engrs., paper SPE9289 presented at the 1980 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Dallas, Sept. 21-24
- Crosbie, R., Binning, P. and Kalma, J. (2005) A Time Series Approach to Inferring Groundwater Recharge Using the Water Table Fluctuation Method, Water Resources Research, 41 (1), pp. 1-9
- Glenn M. Duffield (2002) AQTESOLV for Windows. Hydro SOLVE, Inc., Reston, VA
- Eagon, H. B., Jr., and Johe, D. E., (1972) Practical Solutions for Pumping Tests in Carbonate-Rock Aquifers: Ground Water, 10 (4), pp. 6-13
- El-Naqa, A. (1994) Estimation of Transmissivity from Specific Capacity Data in Fractured Carbonate Rock Aquifer, Central Jordan. Environmental Geology 23, pp. 73-80
- Fabbri (1997) : Transmissivity in The Geothermal Euganean Basin: A Geostatistical Analysis. Ground Water, 35 (5), pp. 888-887
- Hamm, S-Y., Cheong, J-Y., Jang, S., Jung, C-Y., Kim, B-S. (2005) Relationship Between Transmissivity and Specific Capacity in The Volcanic Aquifers of Jeju Island, Korea. Journal of Hydrology 310, pp. 111-121

- Huntley, D., Nommensen, R., and Steffey, D. (1992) The Use of Specific Capacity to Assess Transmissivity in Fractured-Rock Aquifers. *Ground Water* 30 (3), pp. 396-402
- Jalludin, M. and Razack, M. (1991) Assessment of Hydraulic Properties of Sedimentary and Volcanic Aquifer Systems Under Arid Conditions in The Republic of Djibouti (Horn of Africa). *Hydrogeology Journal* 12, pp. 159-170
- Mace, R. E. (1997) Determination of Transmissivity from Specific Capacity Tests in a Karst Aquifer, *Ground Water*, 35 (5), pp. 738-742
- Moench, A. F. (1997) Flow to a Well of Finite Diameter in a Homogeneous, Anisotropic Water Table Aquifer, *Water Resour. Res.*, 33 (6), pp. 1397-1407 (Correction: *Water Resour. Res.*, 34 (9), pp. 2431-2432, 1998)
- Razack, M. and Huntley, D. (1991) Assessing Transmissivity from Specific Capacity in a Large Heterogenous Alluvial Aquifer. *Ground Water* 29 (6), pp. 856-861
- Razack, M., Lasm, T. (2006) Geostatistical Estimation of The Transmissivity in a Highly Fractured Metamorphic and Crystalline Aquifer (Man-Danane Region, Western Ivory Coast). *Journal of Hydrology*, 325, pp. 164-178
- Robert E. Mace. (2000) Estimating Transmissivity Using Specific-Capacity Data: Bureau of Economic Geology, The University of Texas at Austin, Geological Circular 01-2
- Rotzoll, K., El-Kadi, A. I. (2008) Estimating Hydraulic Conductivity from Specific Capacity for Hawaii Aquifers, *USA Hydrogeology Journal* (2008) 16, pp. 969-979
- Sandra, R., Chesnaux, R., Rouleau, A. (2011) Estimating the Hydraulic Properties of Aquifers from Specific Capacity Data: Saguenay-Lac-Saint-Jean, Quebec, *Proceedings of GeoHydro 2011, Joint Meeting of the Canadian Quaternary Association and the Canadian Chapter of the International Association of Hydrogeologists*, August 28-31, 2011, Quebec City, Canada
- Sayed S.A.S., Fawzia M., (1995) Relationships Among Hydraulic Characteristics of the Dammam Aquifer and Wells in Kuwait. *Hydrogeology Journal*, 3 (1)
- Srivastav, S.K., Lubczynski M.W., Biyani A.K. (2007) Upscaling of Transmissivity, Derived from Specific Capacity: A Hydrogeomorphological Approach Applied to the Doon Valley Aquifer System in India. *Hydrogeology Journal*, 15, pp. 1251-1264
- Theis, C. V., Brown, R. H., and Myers, R. R. (1963) Estimating the Transmissibility of Aquifers from the Specific Capacity of Wells, *Methods of Determining Permeability, Transmissivity, and Drawdown*, U.S. Geological Survey Water Supply Papers, 1536-I
- Thomasson, H. J., Olmstead, F. H., LeRoux, E. R. (1960) Geology, Water Resources, and Usable Ground Water Storage Capacity of Part of Solano County, U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1464
- Verbovšek, T., (2008) Estimation of Transmissivity and Hydraulic Conductivity from Specific Capacity and Specific Capacity Index in Dolomite Aquifers. *Journal of Hydrologic Engineering*, pp. 817-823
- Yidana, S. M., Ophori, D., Banoeng-Yakubo, B., (2008) Hydrogeological and Hydrochemical Characterization of the Voltaian Basin: The Afram Plains area, Ghana. *Environ Geol.* 53, pp. 1213-1223
- 丁澈士 (1995) 時間序列分析應用於屏東平原地下水補注之推估研究, 屏東技術學院學報, 第4期, 第235-244頁
- 龔文瑞、李振誥、陳尉平、葉信富 (2007) 以地下水位變動法結合消退曲線位移法評估地下水補注量, 農業工程學報, 第53卷, 第3期, 第75-87頁

中興工程季刊編審小組啟事

修訂中興工程季刊「徵稿簡則」工程技術性文稿參考文獻之格式，並提供「文稿格式範本」及「中興工程季刊投稿人暨稿件資料表」各一種，請至本社網站 <http://www.sinotech.org.tw> 點選【中興工程季刊→徵稿簡則】下載利用。