

雙水層水井特性之研究

Study on Two-layer Aquifer Well Characteristic

台灣糖業公司研究所土木工程師

陳健夫

Chien-Fu Chen

摘 要

雙水層水井為一井孔穿鑿兩含水層之綜合水井結構體，每一含水層有其獨立之水文、水力特性，在水井中形成一綜合水位，根據水層流量與水位之平衡關係，個別水層水位與綜合水位之距離，與其單位洩降出水量成反比。雙水層水井之單位洩降出水量，除受水位之升降、抽水時間、出水量及臨井干擾等一般單水層水井之因素外，另受兩水層間之水文及水力特性差異之影響。雙水層水井為複水層水井之基本型態，在水層屬性方面，可概分為上非受壓下受壓水層，及兩受壓水層等兩種。在水層優劣方面，可區分為上優下劣、上劣下優及上下相當等三種。在水文方面，可能出現的情況為，上水層水位高下水層水位低，及上水層水位低下水層水位高等兩種型態。每一種水層屬性、水文狀態及水力組合，皆有其不同之出水特性。

雙水層水井水層間存在之勢能差異，可造成水層間地下水質快速之污染，並使以微流速儀測定個別水層出水百分率，受抽水量之大小而變動。此外，以抽水方式採集地下水水樣者，所得之綜合水樣亦受抽水量大小之影響。而以採樣器伸入井內方式取樣者，可因取樣位置之不同而發生差異。

關鍵詞：水井，地下水，複水層，單位洩降出水量。

ABSTRACT

A two-layer aquifer well is defined as a combined well penetrating two aquifers. Each aquifer owns its independent formation characteristic and potential. According to well hydraulics, the water flows from higher potential aquifer into a lower one, and a combined water level will be formed between them. The distance from individual water level to combined water level is inverse ratio to its specific capacity. In addition to water level variation, pumping time, discharge and well interference, the specific capacity of two-layer aquifer well is affected by potential difference and formation hydraulics

characteristics. The potential difference also result groundwater pollution between aquifers. Besides, it will change flow percentage of aquifer by taking different pumping rate. Both taking water sample from a pump or water sampler in a two-layer aquifer well is more complex than that in single layer water well.

Keywords: Water well, Groundwater, Multi-aquifer, Specific capacity.

一、前言

地下水為台灣地區重要水資源之一，年抽取量達 57 億噸(秦啟文，1999)，攸關我國經濟之發展。鑿井取水為開發及使用地下水之主要方式，為獲取較大水量，一般鑿井業者或顧主常取用兩個以上含水層，因此複水層水井成為一普遍之井體型態。在台糖公司七百餘口灌溉水井中，超越九成屬此類水井，其中雙水層水井為水理較單純之井體類型。

理論上言，水井取用較多含水層大致可獲取較大出水量，然此舉並非最經濟，對井體及地下水質言，亦非安全，而可能衍生一些負面效應。早期地下水之開發，期望獲取充份出水量，所建鑿之水井既深且水層層數較多。囿於經費及欠缺先進探測儀器，甚少進行地層及井內探測，因此對於含水層之優劣，缺乏判斷，常導致取用下層導水率低，出水特性較差之劣水層，且裝設較深之幫浦抽水營運。然與淺層水井相比較，所增加之出水量有限，但造成超抽現象(overpumping)，危害井體，縮短水井壽命，亦浪費動力。此外取用較多含水層，極可能導致高勢能水層之劣水質，入侵至低勢能之優良水層，發生水層間地下水污染。由經濟部執行已完成之台灣地區地下觀測站網計畫之地下水文資料觀察，一般淺水層之水位普遍較深水層為高，因此現代之地面污染物藉複水層水井為管道，傳輸至深水層為一可能之快速污染方式。

雙水層水井與單水層水井之主要差異，在於所含水文及水層結構組織之不同。單水層水井僅含單一的水位及水層，在井內之地下水幾乎呈水平流狀態；而雙水層水井之水文與地層情況較為複雜，其出水特性除受水文、地質、水理及積垢

等單水層水井之影響因素外(陳健夫、方永泰 2000.)，尚有各水層間存在之勢能差異問題，其個別水層之屬性及物理係數亦不相一致，井內地下水流在水層間有垂直流動之現象。由於這些差異，在分析雙水層水井之性能時，無法單純引用單水層水井之公式，而必須考慮雙水層水井之特殊情況，始不致發生錯誤之研判，雙水層水井之種種特性，實值得研討。

二、雙水層水井之分類

雙水層水井為複水層水井中之最基本型態，其在水層之屬性方面，可概分為上非受壓下受壓水層，及兩受壓水層等兩種狀況。在水層之優劣方面，可區分為上優下劣、上劣下優及上下水層出水性能相當等三種。在水文方面，可能出現的情況為，上水層水位高下水層水位低，及上水層水位低下水層水位高等兩種型態。每一水層屬性、水文狀態及水層水力特性組合，皆有其不同之出水特性。

三、雙水層水井井內之水流狀態

(一) 不抽水時

水井為水層間之流體連通體，每一水層擁有其獨立之勢能及水力特性，並在井內形成一綜合水位，介於上、下水層真實水位之間。如圖 1，A 水層之水位 WL_a 較高，與綜合水位 WL_c 之水位差為 d_a ；B 水層之水位 WL_b 較低，與綜合水位 WL_c 之水位差為 d_b 。若為穩定流狀態，A 水層之流出量 Q_a 等於 B 水層流入量 Q_b ，即 $Q_a = Q_b$ ，又水層進、出水井之流量關係式為其單位洩降出水量與洩降之乘積。設 $(Q/s)_a$ ， $(Q/s)_b$ 分別為 A、B 水層之單位洩降出水量。因此 $Q_a = (Q/s)_a \times d_a$ ， $Q_b = (Q/s)_b \times d_b$ ， $(Q/s)_a \times d_a = (Q/s)_b \times d_b$ 。則 A、B

表 1 雙水層水井抽水時之水流狀態表

抽水量次第 Pumping rate	抽水水位 Pumping level	水層水流狀態 Flow states of aquifer	水流關係 Flow relation
Q_0 (抽水前流量 0)	PL_0 (綜合靜水位)	$Q_{ao} \rightarrow Q_{bi}$	$Q_{ao} = Q_{bi}$
Q_1 (第一級 1st stage)	PL_1	$Q_{ao} \rightarrow Q_{bi}, Q_1$	$Q_{ao} = Q_{bi} + Q_1$
Q_2 (第二級 2nd stage)	$PL_2 (PL_2 = WL_b)$	$Q_{ao} \rightarrow Q_2$	$Q_{ao} = Q_2$
Q_3 (第三級 3rd stage)	PL_3	$(Q_{ao}, Q_{bo}) \rightarrow Q_3$	$Q_{ao} > Q_{bo}, Q_3 = Q_{ao} + Q_{bo}$
Q_4 (第四級 4th stage)	PL_4	$(Q_{ao}, Q_{bo}) \rightarrow Q_4$	$Q_{bo} > Q_{ao}, Q_4 = Q_{ao} + Q_{bo}$

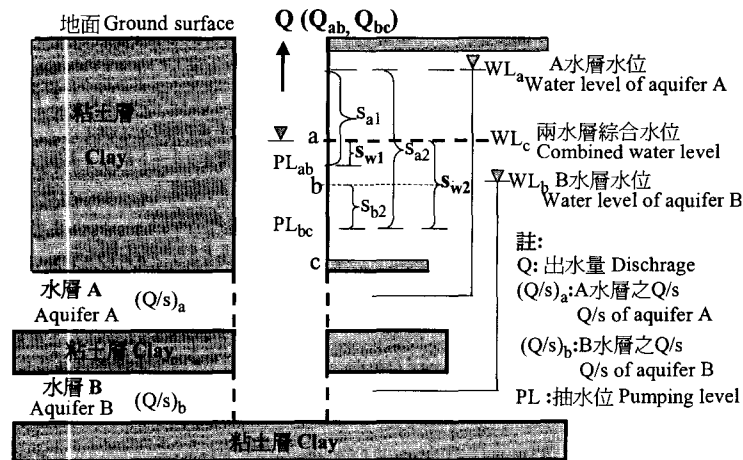


圖 3 雙水層皆為受壓狀態水井 Q/s 與抽水水位之關係圖

位較低水層)，水井抽出量 Q_3 始由兩水層所供應， $Q_3 = Q_{ao} + Q_{bo}$ 。此時 A 水層之洩降為 s_a (WL_a 與 PL_3 之距離)，其水層流出量為 $Q_{ao} = (Q/s)_a \times s_a$ ，B 水層之洩降為 s_b (WL_b 與 PL_3 之距離)，其流出量為 $Q_{bo} = (Q/s)_b \times s_b$ 。雖 B 水層井體性能較佳，但洩降 s_b 較小，因此其流出量 Q_{bo} 可能不如 A 水層 Q_{ao} 多。第四級抽水流量更增大為 Q_4 ，由於 B 水層洩降增加之比例較 A 水層為大，抽水至相當深度，B 水層流出水量將大於 A 水層，最後 A、B 兩水層之流出量比趨近 $d_b : d_a$ 。表 1 為雙水層水井流量、抽水水位與水層間水流之流動狀態。

四、雙水層水井之單位洩降出水量的關係

(一) 雙水層皆為受壓狀態

雙水層皆為受壓狀態水井，若水層間之勢能

差異大，如圖 3。當水井做微量抽水，流量為 Q_{ab} ，抽水水位 PL_{ab} 位在綜合靜水位 WL_c 與低勢能水層靜水位 WL_b 之間，即 a 點與 b 點之間，此時水井之出水量，僅由高勢能之水層(A 水層)所供應，其供應量為 $Q_{ab} = (Q/s)_a \times s_{a1}$ ，另部份水量則流失至低勢能水層(B 水層)，水井之單位洩降出水量計算值為 $(Q/s)_{ab} = Q_{ab} / s_{w1}$ (s_{w1} 為 PL_{ab} 與 WL_c 之距離)，僅為 A 水層流出量之部份值。當水量增大為 Q_{bc} ，抽水水位 PL_{bc} 降至低勢能水層靜水位 WL_b 之下，介於 b 點與 c 點之間，此時水井之出水量為兩水層所供應。A 水層之供應量為 $Q_a = (Q/s)_a \times s_{a2}$ ，B 水層之供應量為 $Q_b = (Q/s)_b \times s_{b2}$ ，水井之總出水量為兩水層流量之和即 $Q_{bc} = Q_a + Q_b$ ，或 $Q_{bc} = (Q/s)_a \times s_{a2} + (Q/s)_b \times s_{b2}$ ，水井之 $(Q/s)_{bc} = Q_{bc} / s_{w2}$ ，為兩水層之綜和值。

水井之最大單位洩降出水量 $(Q/s)_{max}$ ，應在兩

表 2 雙水層皆為受壓狀態水井之抽水水位與 Q/s 關係比較表

抽水水位 PL Pumping level	洩降 (s) Drawdown	水井出水量(Q) Well discharge	單位洩降出水量 Q/s Specific capacity
PL ₀	s ₀ = 0	Q ₀	(Q/s) ₀
PL _{ab} 在 a 與 b 間	s _{w1}	Q _{ab} = (Q/s) _a × s _{a1}	(Q/s) _{ab} = Q _{ab} / s _{w1}
PL _{bc} 在 b 與 c 間	s _{w2}	Q _{bc} = (Q/s) _a × s _{a2} + (Q/s) _b × s _{b2}	(Q/s) _{bc} = Q _{bc} / s _{w2}

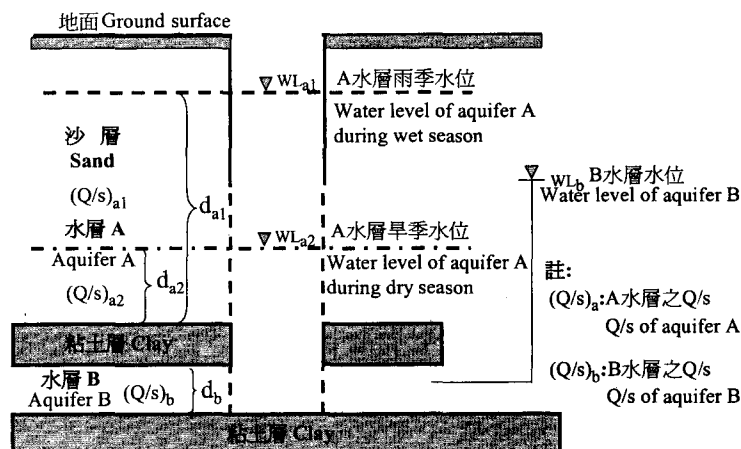


圖 4 上層非受壓下層受壓水層水井之旱雨季 Q/s 變化關係圖

水層皆能充份出水，且水井損失(well loss)不甚大之情況下獲得。加大洩降，原則上可獲得較多之出水量。惟抽水水位達到某程度，增加之洩降勢能將被水井損失水頭所抵消，尤其在超抽狀態下。表 2 為雙水層皆為受壓狀態水井，其抽水水位大小與 Q/s 之關係比較。從上述水量、抽水水位以及 Q/s 之關係比較，雙水層皆為受壓狀態水井之單位洩降出水量，除受水位之升降、抽水時間之長短、出水量大小及臨井干擾等一般單水層水井之因素外(陳健夫、方永泰，2000)，與抽水水位之深淺關係重大。

(二) 上層為非受壓下層為受壓狀態

從過去台糖公司每年定期水井檢查之試水記錄分析發現，上層為非受壓下層為受壓類型之雙水層水井，其 Q/s 值在旱季與雨季間呈現明顯之變化。檢討造成這種現象主要原因，在於此類型水井，上層之非受壓水層擁有很強之出水性

能，地下水位之消漲，左右整個水井之產水能力。

如圖 4 為屬於此類型水層結構水井，雨季時，上水層水位上升至 WL_{a1}，水層厚度增加為 d_{a1}，導水率增大，單位洩降出水量亦增強為 (Q/s)_{a1}；旱季時，上水層水位下降為 WL_{a2}，水層厚度減少成為 d_{a2}，導水率減小，單位洩降出水量則轉弱為 (Q/s)_{a2}。而下層受壓水層，其水層厚度 d_b 及單位洩降出水量 (Q/s)_b 皆為定值，並不隨水位之起伏而改變。整體水井之井體性能，為兩水層之綜合值，因此上水層非受壓水層之出水能力變化，將主控整個水井之單位洩降出水量值，雨季時大，旱季時小。非受壓水層水井之出水特性，除受靜水位高低之因子外，亦受洩降大小之影響(陳健夫、方永泰，2000)，即洩降小，Q/s 大；洩降大，Q/s 小。

因此若上層非受壓水層為主水層，將主導整個水井之出水狀況。原高雄糖廠鳳山厝農場 14

表 3 高雄糖廠鳳山厝 14 號井，分級試水 Q/s 與洩降之關係比較表

日期:1979-12-15 (date:1979-12-15)

靜水位(m) Static water level	洩降(m) Drawdown	流量(cmh) Discharge	Q/s(cmh/m) Specific capacity
12.29	6.25	20.5	3.28
12.29	8.96	26.5	2.89
12.29	15.07	32.8	2.31
12.29	26.80	36.8	1.46

註：地層結構(m)：0.0---37.5(細沙)，37.5---40.5(土)，40.5---51.7(細沙含土)

濾水管位置(m)：16.8---37.2，41.4---59.0

表 4 高雄糖廠鳳山厝 14 號井，Q/s 與靜水位變化之關係比較表

日期 Date	靜水位(m) Static water level	抽水水位(m) Pumping level	流量(cmh) Discharge	Q/s(cmh/m) Specific capacity
1991-03-26	15.20	27.64	38	3.05
1991-06-29	11.91	22.15	38	3.77
1992-03-05	17.79	36.58	34	1.80
1992-07-10	9.83	20.56	41	3.82
1992-12-25	17.23	32.58	30	1.96

號水井，為一上層非受壓下層受壓類型水井。表 3 為該水井在同一靜水位不同流量下分級試水之 Q/s 與流量之關係表，表 4 為該水井旱、雨季不同靜水位之 Q/s 變化比較。

由表 3 之分級試水記錄分析，顯示此種水層結構水井，在同一靜水位不同流量之情況下，Q/s 值隨流量之增大而銳減。第一級試水，靜水位為 12.29m，流量為 20.5cmh，洩降為 6.25m，Q/s 為 3.28cmh/m，第四級試水，流量增為 36.8cmh，洩降為 26.80m，Q/s 則減小為 1.46cmh/m。顯示此水井之出水特性，受上層非壓水層因抽水關係改變平均水層厚度之影響不小。當出水量小時，Q/s 值大；反之出水量增大時，Q/s 急遽變小。

由表 4 定期檢查試水記錄觀察，地下水位之消漲，對水井之 Q/s 值亦產生很大影響。雨季時地下水位上升至距地面 9.83m，Q/s 為 3.82 cmh/m；旱季時地下水位下降至距地面 17.79m，Q/s 則減少為 1.80cmh/m。顯然上層非受壓水層之導水率深受地下水位之起伏而有很大改變，而下層受壓水層之出水能力薄弱，對整體水井性能之關係甚微。

若水層結構與上述相反，上水層為細緻之粉沙層，下層為厚實之粗沙層結構。在此情況下，則水文、水量主導權在下水層。下水層個別之獨立水位與水井內之綜合靜水位較接近，水井抽水時，出水量大部份將由下水層所供應，旱、雨季地下水位之變動及洩降大小，對整體水井出水量及單位洩降出水量變化之影響將較為輕微。

五、雙水層水井之個別水層出水百分率與流量之關係

水井流速儀一般常被用以測定個別水層出水百分率，藉以研判水層出水能力，以供水層之取捨。其主要構造可分成偵測器、電纜及計數器等三部份，測定時，將偵測器放入井內不同深度及水層變化處，從計數器之轉速值獲得各水層之出水量百分比。在應用於複水層水井，因水層間存有勢能差異，以大、小不同流量測定時，可能出現個別水層出水量百分率不一致現象。

圖 5 為仁德糖廠沙崙農場 19 號試驗井，利用流速儀測定水層出水量百分率之曲線圖。試驗

表 5 沙崙 19 號井，流量大小與各水層出水量所佔百分率之變化比較

抽水階段 Pumping stage	抽水水位 Pumping level	A 水層		B 水層		水井	
		流出量 Q_a Discharge (CMH)	百分率 %	流出量 Q_b Discharge (CMH)	百分率 %	出水量 Q Discharge (CMH)	百分率 %
0	2.62						
1 st	5.11	5.78	89.90(R_{a1})	0.65	10.10(R_{b1})	6.43	100
2 nd	5.95	7.42	85.70(R_{a2})	1.23	14.30(R_{b2})	8.65	100

註：A 水層靜水位， $WL_a=2.14m$ ，B 水層靜水位， $WL_b=4.17m$ ，綜合水位， $WL_c=2.62m$

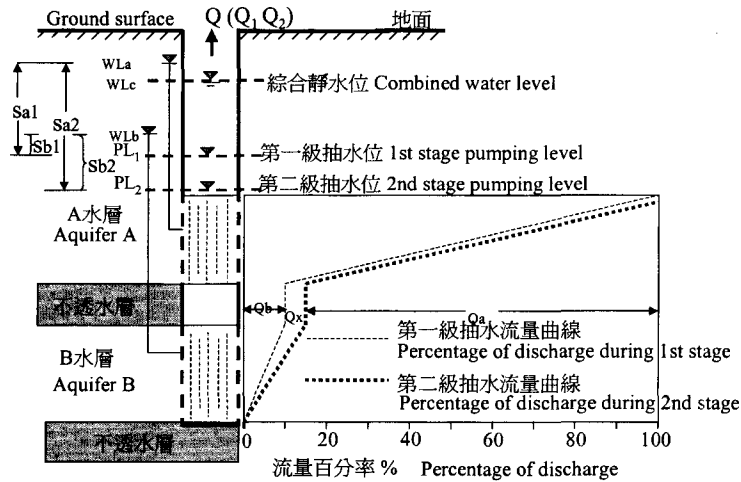


圖 5 雙水層水井水層間勢能差異對水層流量百分率之影響圖

井為一兩水層混合水井，A 水層之靜水位為 WL_a ，B 水層之靜水位為 WL_b ，其綜合水位為 WL_c 。由個別水層靜水位與綜合水位之距離判斷， WL_a 與 WL_c 之距離較近，因此 A 水層之出水性能大於 B 水層。做二階次抽水其個別水層之流量、出水百分率之變化如下列。

第一階次抽水，流量為 Q_1 ，抽水水位為 PL_1 。

A 水層之流出量 $Q_{a1}=(Q/s)_a \times s_{a1}$

B 水層之流出量 $Q_{b1}=(Q/s)_b \times s_{b1}$

水井總流量 $Q_1=Q_{a1}+Q_{b1}=(Q/s)_a \times s_{a1}+(Q/s)_b \times s_{b1}$

A 水層佔水井總流量百分率(%)為

$$R_{a1}=(Q/s)_a \times s_{a1} / [(Q/s)_a \times s_{a1} + (Q/s)_b \times s_{b1}]$$

B 水層佔水井總流量百分率(%)為

$$R_{b1}=(Q/s)_b \times s_{b1} / [(Q/s)_a \times s_{a1} + (Q/s)_b \times s_{b1}]$$

當第二級抽水時，流量增加為 Q_2 ，抽水水位下降成為 PL_2 。

A 水層流出之水量 $Q_{a2}=(Q/s)_a \times s_{a2}$

B 水層流出之水量 $Q_{b2}=(Q/s)_b \times s_{b2}$ 。

水井總流量

$$Q_2=Q_{a2}+Q_{b2}=(Q/s)_a \times s_{a2}+(Q/s)_b \times s_{b2}$$

A 水層佔水井總流量百分率(%)為

$$R_{a2}=(Q/s)_a \times s_{a2} / [(Q/s)_a \times s_{a2} + (Q/s)_b \times s_{b2}]$$

B 水層佔水井總流量百分率(%)為

$$R_{b2}=(Q/s)_b \times s_{b2} / [(Q/s)_a \times s_{a2} + (Q/s)_b \times s_{b2}]$$

由於兩水層間存在有勢能之差異， $s_{a1} \rightarrow s_{a2}$ 與 $s_{b1} \rightarrow s_{b2}$ 隨流量 Q 變化之增加率不同，因此 $R_{a1} \neq R_{a2}$ ； $R_{b1} \neq R_{b2}$ 。

表 5 為沙崙 19 號井，以大小流量做二階次抽水，各水層出水量所佔百分率之變化。A 水層之靜水位 SL_a 為 2.14m，B 水層之靜水位 SL_b 為 4.17m，其綜合靜水位為 2.62m(地下水水面與地表測定基點之距離)，第一級抽水水井總出水量

$Q=6.43\text{cmh}$ ，其中 A 水層佔 5.78cmh ，出水百分率 $R_{a1}=89.90\%(Q_a+Q_x)$ ；B 水層佔 0.65cmh ，出水百分率 $R_{b1}=10.10\%(Q_b)$ 。第二級抽水，水井總出水量增加至 8.65cmh ，其中 A 水層佔 7.42cmh ，出水百分率下降為 $R_{a2}=85.70\%(Q_a)$ ，B 水層佔 1.23cmh ，出水百分率則增加為 $R_{b2}=14.30\%(Q_b+Q_x)$ ，對照兩水層之出水量百分率，發現 $R_{a1} \neq R_{a2}$ ； $R_{b1} \neq R_{b2}$ 。由此數據之百分率變化顯示，複水層水井之個別水層出水百分率顯受水層間勢能差異之影響。水層間勢能差異越大，個別水層出水百分率之變化亦越大。

六、雙水層水井水井效率計算之檢討

水井之洩降公式為 $s=BQ+CQ^n$ ，其中 s 為洩降， Q 為流量， B 為水層損失係數， C 為水井損失係數。對於水井損失 CQ^n 中之流量指數 n ，長久以來雖有爭議，傑可博(Jacob)氏首先倡議 n 可以 2 表之(Lennox, D.H. 1996)。一般在應用上 n 亦採用 2，使計算式簡化。

水井效率之意義為在安全出水量情況下，理論洩降值(s_i)與實際洩降值(s)比之百分率。水井之實際洩降(s)，包括水層損失水頭 BQ 與水井損失水頭 CQ^2 兩者之和，即 $s=BQ+CQ^2$ ，則水井效率 $E_w=BQ/(BQ+CQ^2)$ 。

利用單一水井求水井效率，必須依出水量大小，至少做兩級以上之分級抽水試驗(一般採用四級)，以下列之二元一次之聯立方程式，或以 s/Q 為縱座標， Q 為橫座標圖解法，求解 B 、 C 係數，代入公式而得水井效率。

$$(s/Q)_1=B+CQ_1 \text{-----}(a)$$

$$(s/Q)_2=B+CQ_2 \text{-----}(b)$$

上式公式成立之條件為 B 、 C 為定值，在分級試水時不因流量或洩降之增加而改變。在雙水層水井之情況下，當其個別水位一致時，水層損失係數 B 為上、下兩水層之綜合值，以不同之流量抽水，上、下水層出水量皆可維持一定比率。若其個別之水位差異大時，不同流量之分級試水將使

上、下水層之產生不同比率之洩降，或上水層為非受壓型態，則將使 B 值發生變化，而非固定。

因此雙水層水井效率之測定，由於有上面因素之影響，分級試水所得之 s/Q 與 Q 之關係可能偏離線性，易使水井效率之計算發生誤差。在此情況下，水井性能變化之檢測，採用相同之水文環境及抽水條件，如水位、抽水時間及洩降相當，以單位洩降出水量 Q/s 做比較為一較可行方式。

七、雙水層水井與水層污染關係之探討

水井為水層與水層間水流之連通管，在水層勢能有差異之情況下，高勢能水層之水流向低勢能水層注入，如本文前節所述。因此，一長期停置不用之水井，若取用含有劣水質水層且水位較高，勢必發生水層間水質污染。根據「台灣地區地下水觀測站網計畫」中已完成之觀測井歷年之水文資料分析比較(1994—1998，經濟部水資源局)，淺層水層地下水位一般較深水層為高者，約佔 70% 以上，因此地面之污染物，透過水井為傳輸管道，受污染之水質自淺水層逐次傳遞至深水層為可能情況，成為深水層受污染之捷徑。

台灣地區河川中、下流域，複水層水井為一普遍之水井型態，因此低勢能水層地下水之來源，除部份源自上游直接供給外，應有相當大比例係來自高勢能水層之補給。地下水之定年，常以同位素 C^{14} 或 H^3 與大氣隔絕時間推估及分析地下水流速(劉聰桂等，1992 & 1998)，對於低勢能且較深之含水層定年，似應考慮自上層高勢能淺水層快速補給之可能性。因此對水層較複雜且層數較多地區，地下水之定年，需有更詳實之個別水層水文及地質輔助資料，供分析參考。

八、雙水層水井之水質採樣

雙水層水井在井內之水流狀態，約略可分成三部份，第一部份位在靜水位以下至濾水管上端間，如圖 6 (A 部份)，此部份水除非抽水或靜水位起伏劇烈升降頻繁，行替換作用，一般呈滯流狀態屬滯留水。第二部份位在上水層濾水管上端至下水層濾水管下端間，此部份水來自水層中之

表 6 宜梧 1 號觀測井不同取樣方式及不同水流環境之水質比較

水質項目 Items	*抽水取樣 Pumping water	**滯流水(45m) Stagnant water	***流動水(78m) Flowing water
DO (mg/L)	---	1.94	4.41
PH	7.62	7.61	7.45
EC (micro mhos/cm)	3935	15300	9520
Alkalinity (HCO_3^- mg/L as CaCO_3)	390	535	470
Hardness (mg/L CaCO_3)	326	1094	704
Cl^- (mg/L)	1152	5149	3223
SO_4^{2-} (mg/L)	53.3	358	168
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg/L)	0.64	0.14	0.13
$\text{NH}_3\text{-N}$ (mg/L)	5.64	13.1	10.4
Ca (mg/L)	39.1	71.3	63.3
Mg (mg/L)	55.4	223	133
K (mg/L)	23.1	106	65.3
Na (mg/L)	745	3295	1955

備註：

* 取樣前先抽取 3 倍井水。

** 取樣深度距地面 45 m，位於靜水位與濾水管頂端之間，以取水樣器定點取樣。

***取樣深度距地面 78 m，位於濾水管處，以取水樣器定點取樣。

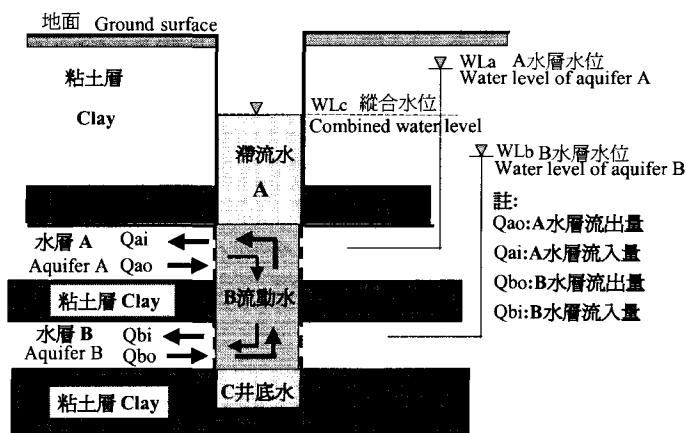


圖 6 雙水層水井井內之水流狀態對水質之影響

地下水，呈流動狀態，在兩水層有勢能差異情況下，在井內做垂直向流動如圖 6(B 部份)。第三部份在井之最下端，即沉沙管部份如圖 6(C 部份)，除非井體進行修洗用抽泥筒抽除，否則呈長期停滯狀態為死水。

A 部份之滯流水水質，在每次抽水後，抽水機入口以下部份之水體，係由兩水層之混合水流

上升補充。基本上水質應與兩水層之混合水質相近，惟補充之水體則可能因水層個別勢能高低變化及水力特性之不同，每一水層出水百分率非為固定，水質因而有可能產生差異。此外此部份水體因長期滯流不動呈缺氧狀態，加以有機質之耗氧作用(張文亮等，1998)，致使井內滯流水之水質與水層水不同。表 6 為雲林縣宜梧 1 號觀測

井，使用定點取水樣器，於不同深度採集井管內之滯流水、濾水管處流動水及以抽水取樣方式，所得水質之比較，在溶氧(DO)、電導度(EC)、氨態氮(NH₃-N)等皆有很大之差異。基本上在 A 部份之範圍內取樣，所獲得之水樣可能為過時且可能已產生變化之水質。此部份水之排除，可令抽水機入口僅略低於靜水位，以小流量抽水可達到排除之目的。

B 部份之水體，若兩水層之靜水位相同，則僅有水平流，如有勢能差異，則產生垂直流動，水流流動方向如前述，高勢能水層水向低勢能水層流動。基本上在此區段範圍內採取水樣，將得到高勢能水層水樣，所獲得之水質為高勢能水層環境所主控。

C 部份之水體，因位處水井最下端，幾乎不受抽水或水位升降作用而移動，亦不受水層間勢能差異之影響，如同一攤死水。同時受來自水層及井周流出之沉降泥垢及沙粒之生化作用影響，一般呈缺氧狀態，與水層水之水質迥然不同。

一般井水因地熱作用，水溫隨深度增加，大約每下降 100 英尺，溫度上升 1°C(Todd, 1959)。如水井較深，井內不同深度之地下水產生溫差，將導致密度不同發生對流現象而改變原來水質，此影響大小尚需進一步試驗研究。

由於雙水層水井井內存在三種不同之水流狀態，以及水層間存有水壓差異，採用取樣器伸入井內取樣，其水質將因取樣位置不同產生不同之結果。取樣位置一般在 B 範圍之中央或透水率最佳段採集水樣，惟仍僅能得到高勢能水層之水質，欲取得混合水質仍需採用抽水方式。

雙水層水井存在之水層間勢能差異，導致高勢能水層水流向低勢能水層注入之作用。因此此類水井在靜置不抽水時，低勢能水層勢必充滿來自高勢能水層水，所注入之水量，端視勢能差異、水層水力特性及靜置時間之長短而定。若兩水層靜水位差異大，導水率強，且靜置時間長，則所注入之量越多。在此情況下以抽水方式採集地下水樣，抽水初期所得水質將全為高勢能之水質，待注入之高勢能水完全被抽除後，始依兩水

層水力特性，以一定比例出水，所得之水質為兩水層之混合水質。以往水井出水情況檢視，發現部份水井出水，先期電導度 EC 高，待抽水一段時間後，水質 EC 降低而趨穩定。此種情況可解釋為高勢能水層為含鹽水層，水井停滯時，高勢能含鹽水層水持續注入低勢能水層，抽水初期所得水樣皆為高勢能水層水，待注入低勢能水層之鹽水被抽除後，水質變淡，EC 降低。相反之情況則為先期水質 EC 低，後期 EC 變高。基本上，兩水層水井所得水質受抽水水位(或出水量)及時間因素所控制。

九、結 論

1. 雙水層混合水井，水層間存有水壓差異者，高壓水層之水流向低壓水層注入，在水井內形成一綜合水位，其與個別水層水位之距離，與其 Q/s 之大小成反比例。
2. 雙水層水井在抽水狀態，各水層之水流方向、流量及單位洩降出水量受抽水水位之影響。
3. 上層為非受壓下層為受壓型態水井，上水層之導水率受旱、雨季地下水位之升降起伏呈劇烈之變化，將主控水井之出水能力。
4. 以流速儀測定複水層水井個別水層出水能力，由於水層間存在勢能差異，其個別出水百分率將因大、小流量而不同。
5. 雙水層水井若其水層間存有較大之勢能差異，採用分級試水求水井效率，可能會發生偏差。
6. 水井為水層與水層間水流連通管，據已有之觀測井水文資料分析，一般淺層水位較深層為高，因此地面之污染物可透過水井為傳輸管道快速污染深水層。
7. 雙水層水井，以抽水方式取樣，取樣水質將受抽水量大小之影響而產生差異。
8. 雙水層水井之井內水流呈現三種狀態，以採樣器方式伸入井內取樣，取樣水質將受取樣位置(深度)之影響。

十、謝 誌

本文承蒙台灣大學農工系林俊男教授提供

寶貴意見並悉心斧正，特此申致謝忱。

十一、參考文獻

1. 秦啟文，1999，節約地下水源防止地層下陷，經濟部水資源局節約用水季刊，15:28-35。
2. 陳健夫、方永泰，2000，單水層水井單位洩降出水量之研究，台糖公司研究所研究彙報，167:1-18。
3. 劉聰桂、彭宗仁、江崇榮，1992，蘭陽平原地下水放射性碳定年研究，中國農業工程學會 81 年度學術研討會地下水調查分析與保育管理，pp 679--789。
4. 劉聰桂、田巧玲、張炎銘、蘇瑞榮、張秉權，1998，屏東平原地下水定年/示蹤研究：水文地質、水流模型與地下水補注。
5. 經濟部水資源局，1994~1998，地下水觀測網之建立及運作管理八十三至八十七年度報告，地下水觀測井建置及相關試驗。
6. 張文亮、徐玉標、王奕森，1998，地下水井體維護研討會，pp 26--47。
7. D.H. Lennox. 1966. Analysis and Application of Step Drawdown Test. Journal of Hydraulics Division. A.S.C.E. Hy6. pp. 25-48.
8. D.K.Todd. 1959. Ground water Hydrology. Pp 78-114.

收稿日期：民國 89 年 7 月 21 日

接受日期：民國 89 年 8 月 24 日