

附件五

抽水試驗報告書

馬偕醫學院一地下水井水文模擬分析試驗報告書

目 錄

一、前言	1
二、試驗現場配置及裝設項目	2
三、工作執行內容	6
3.1 分級抽水試驗	6
3.2 定量抽水試驗	6
3.3 水位回復試驗	6
四、抽水試驗分析及結果	8
4.1 分級抽水試驗	8
4.2 定量抽水試驗	11
4.3 水位回復試驗	15
五、結論與建議	19

表 目 錄

表 2.1 抽水試驗設施及監測儀器一覽表	2
表 3.1 抽水試驗程序表	7
表 4.1 分級抽水水井效率分析表	9
表 4.2 Jacob定量抽水單井水理係數計算結果表	17
表 4.3 Jacob回水試驗水理係數計算結果表	18

圖 目 錄

圖 2.1 抽水試驗主井與地層斷面說明圖	3
圖 2.2 抽水試驗水位觀測井體構造圖	4
圖 2.3 抽水試驗設施配置圖	5
圖 4.1 分級抽水 抽水量-洩降/抽水量曲線關係圖	8
圖 4.2 分級抽水井效率計算關係圖	9
圖 4.3 分級抽水 抽水量- $\log$ 洩降量曲線關係圖	11
圖 4.4 定量抽水 $S-\log(t)$ 曲線圖	12
圖 4.5 定量抽水觀測 1 井 $S-\log(t)$ 曲線圖	14
圖 4.6 定量抽水觀測 2 井 $S-\log(t)$ 曲線圖	14
圖 4.7 回復試驗殘餘洩降曲線圖	15
圖 4.8 回復試驗觀測 1 井 $S-\log(t/t')$ 曲線圖	16
圖 4.9 回復試驗觀測 2 井 $S-\log(t/t')$ 曲線圖	16

一、前言

業主即規劃單位財團法人馬偕醫學院欲於”台北縣三芝鄉舊小基金段山豬窟小段 53 地號”規劃設置一地下水抽水井，規劃單位為瞭解本工程基地內地下水層之水理特性，並提供回饋設計及使用所需，乃委託昆原技術顧問有限公司(以下簡稱本公司)進行本工程基地現場抽水試驗。

本次試驗2口水位觀測井乃於99年05月25日鑽掘施工，於99年05月31日鑽掘完成；現場抽水試驗工作於99年06月08日開始進行，於同年06月10日完成，試驗數據由本公司內業分析，全部工作於06月22日完成，並提出本抽水試驗報告。

二、試驗現場配置及裝設項目

根據本工程基地特性，規劃之本次地下水井水文模擬分析試驗項目及抽水設施、監控系統之設置裝設位置，如圖2.1所示。表2.1為抽水試驗設施及監測儀器一覽表。

表 2.1 抽水試驗設施及監測儀器一覽表

設施名稱	數量	電子水壓計放置深度	儀器及設施用途
抽水井	1口	GL-52m	抽水降壓
水位觀測井	1孔	GL-28m	量測抽水造成之洩降狀況
水位觀測井	1孔	GL-28m	量測抽水造成之洩降狀況

本次試驗設置抽水井1口，主井之裝設及說明詳圖2.1說明，抽水試驗時抽水主井使用抽水馬力為7.5HP之抽水幫浦，置於地表下深度70m處之濾管內，井口加設分段出水閥門與流量計。觀測井1深度為30m，與抽水主井距離9.8m，觀測井2深度為30m，與抽水主井距離22.0m，兩口水位觀測井皆埋設2 in φ 之PVC管觀測管，井管皆於深度6~10M、16~20M、26~30M分3段區間開孔。主井之裝設及說明詳圖2.2說明，主井與觀測井相對位置關係詳圖2.3說明。

抽水試驗時，以主井進行抽水，其餘之觀測井用以觀測主井抽水時地下水位變化情形，水位觀測以CR1000電腦資料擷取系統自動計讀資料，試驗中並以人工水位指示器重複檢核觀測其水位變化。

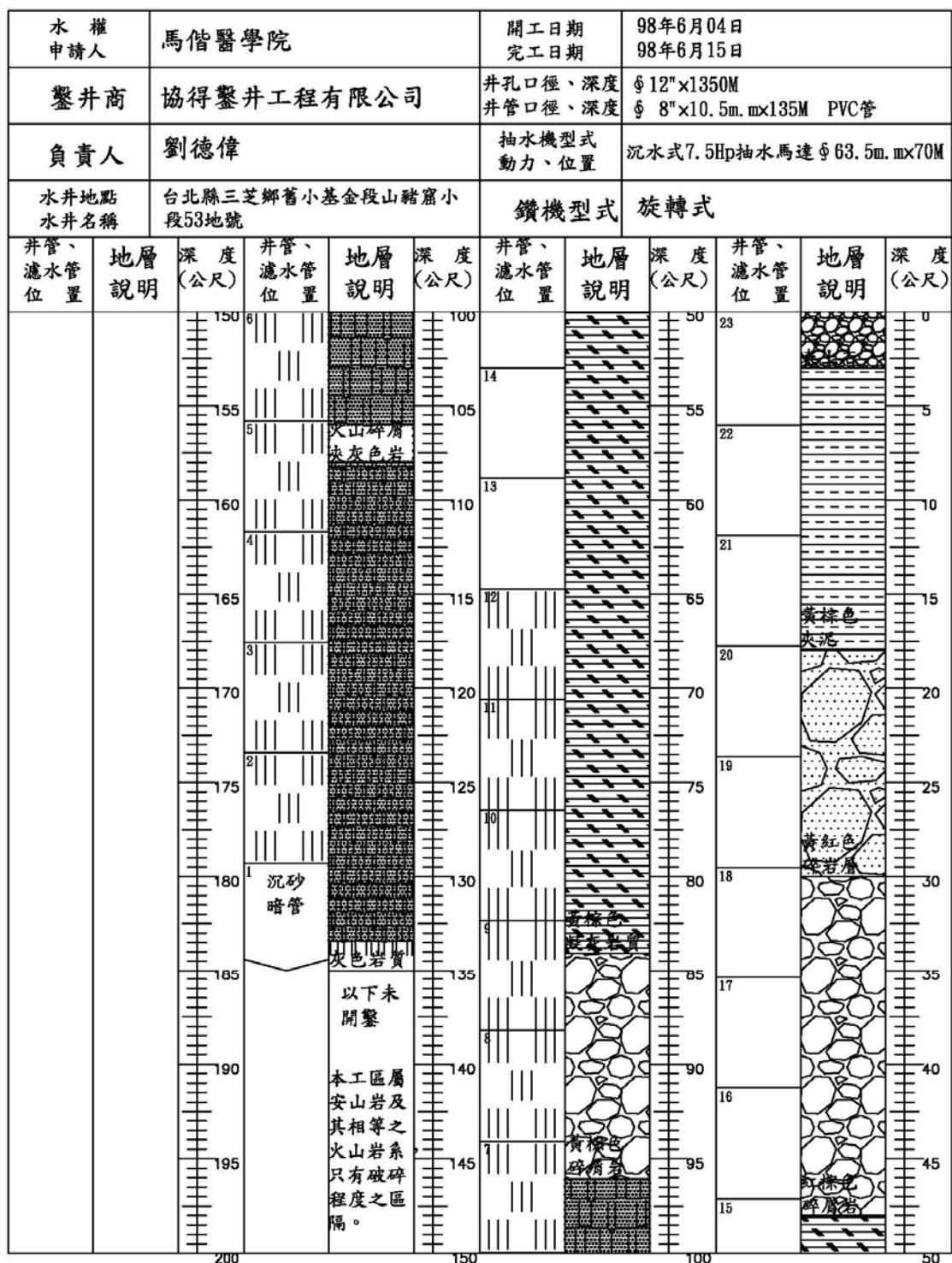


圖 2.1 抽水試驗主井與地層斷面說明圖

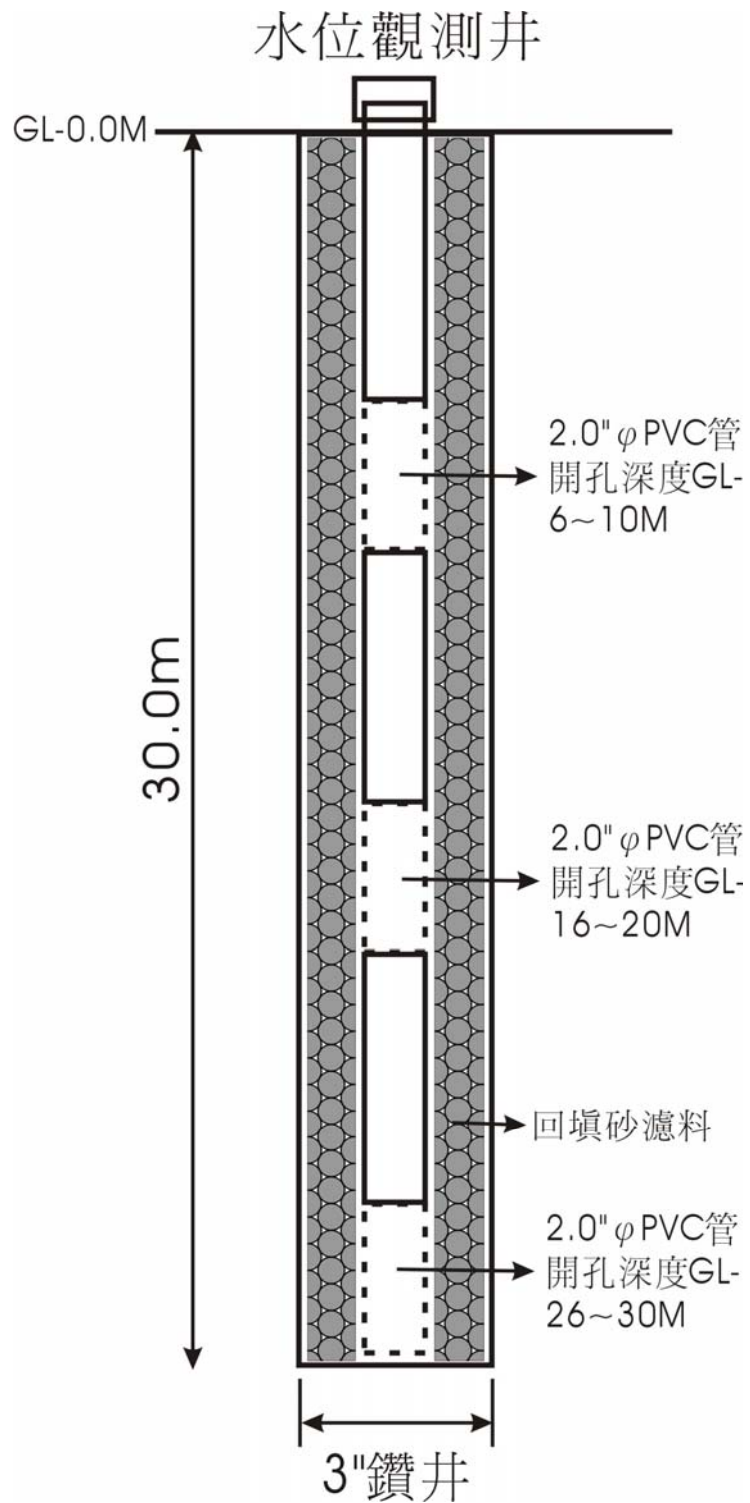


圖 2.2 抽水試驗水位觀測井體構造圖

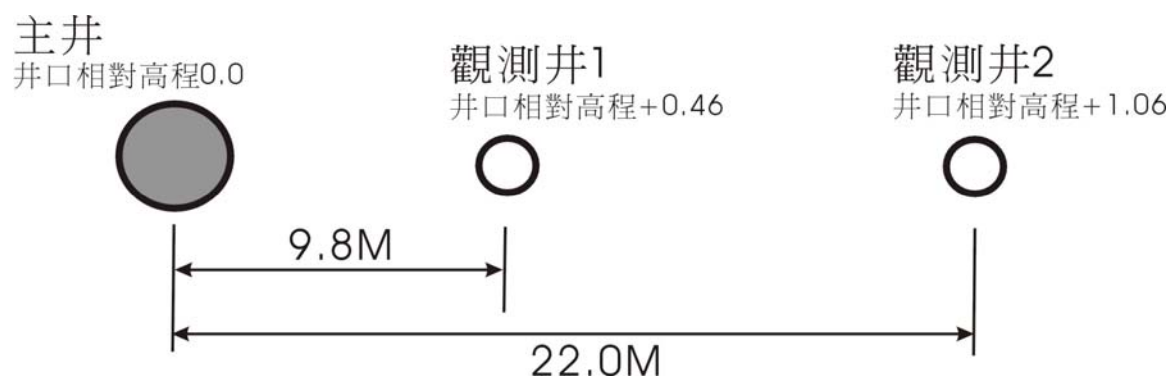


圖 2.3 抽水試驗設施配置圖

三、工作執行內容

抽水試驗一般包括(1)分級抽水(2)定量抽水試驗(3)水位回復試驗等三個流程。

3.1 分級抽水試驗

分級抽水試驗為瞭解含水層之安全出水量，以決定適當之抽水量；考量抽水機馬力和出水狀況，全程分為4級抽水，水量由小而大依序連續抽水，本次試驗各級抽水持續時間為1小時。

3.2 定量抽水試驗

根據分級抽水試驗之結果，決定一適當抽水量，作連續長期定量抽水，以求取含水層之水文特性，如導水係數 T 和儲水係數 λ 。其以定量抽水率抽水，並觀測水位洩降，持續至穩定狀態，本次試驗定量抽水持續時間為25小時。

3.3 水位回復試驗

定量抽水試驗結束，隨即觀測記錄水位之回復情形，持續至穩定狀態，藉以檢核含水層導水係數，本次試驗回水持續時間為6小時。

詳細試驗結果圖表如附錄一所示。

表 3.1 抽水試驗程序表

階段（開始時間）	程序	試驗時間
分級抽水 (2010/06/08 14:45)	主井水閥門開1/4	0~60分
分級抽水 (2010/06/08 15:45)	主井水閥門開2/4	60~120 分
分級抽水 (2010/06/08 16:45)	主井水閥門開3/4	120~180 分
分級抽水 (2010/06/08 17:45)	主井水閥門開4/4(全開)	180~240 分
回水 (2010/06/08 20:05)	主井水閥門關閉	240~320 分
定量抽水 (2009/06/09 12:00)	主井水閥門開4/4(全開)	0~1500 分
水位回復 (2010/06/10 13:00)	主井水閥門關閉	1500~1860 分

四、抽水試驗分析及結果

4.1 分級抽水試驗

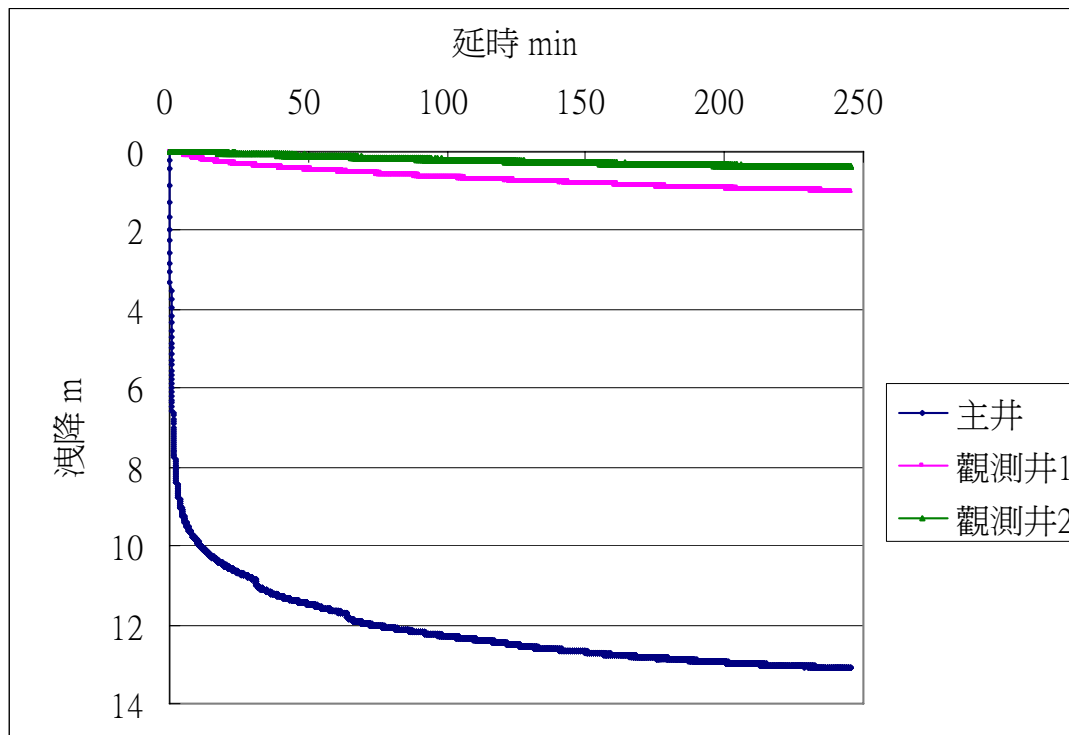


圖 4.1 分級抽水 抽水量-洩降/抽水量曲線關係圖

Jacob 提供之井內洩降方程式可以下式表示：

$$S = BQ + CQ^2 \dots\dots\dots(4.1 \text{式})$$

其中： S： 水位洩降量，本次計算單位採m（取階段終點60分鐘值）

Q： 抽水量，本次計算單位採 m^3/hr

BQ： 含水層洩降損失(Acquifer loss)

CQ^2 ： 水井損失(well loss)

Bierschenk(1964)將4.1 式改寫為：

$$S/Q = B + CQ \dots\dots\dots(4.2 \text{式})$$

將洩降資料點繪制如圖4.1所示；以S/Q 為Y 軸，Q 為X 軸，各洩降資料點之關係曲線趨勢斜率為C，與Y 軸之截距為B，代入4.3 公式， 即可求得水井效率值。由圖4.2可得C、B。

$$\text{水井效率} = BQ \times 100\% \div (BQ + CQ^2) \dots\dots\dots(4.3\text{式})$$

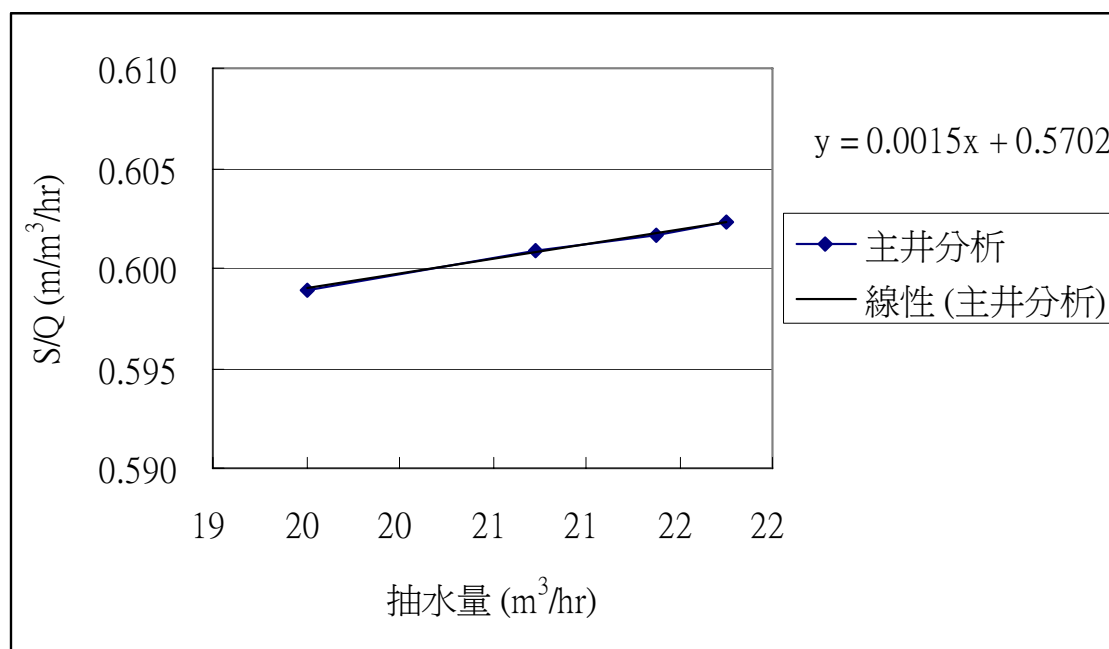


圖 4.2 分級抽水井效率計算關係圖

表 4.1 分級抽水水井效率分析表

截距 B	斜率 C			
0.5702	0.0015			
級數	抽水量Q (m³/hr)	洩降 S (m)60 分鐘	S/Q(m³/hr)	水井效率%
1	19.50	11.679	0.599	95.1
2	20.73	12.456	0.601	94.8
3	21.38	12.863	0.602	94.7
4	21.75	13.100	0.602	94.6

水井安全出水量(Well Safety Yield)係指水井本身因水層特性、水層厚度、井體構造等條件限定下之最大極限水量。凡水井抽水，在不致引起水層物理特性改變，亦不致造成井體濾水管暴露，而能維持長時間抽水量之最大出水量謂之「水井安全出水量」。每一階段抽水進行至觀測井水位面洩降趨勢呈現穩定後，始進行下一階段試水，將各階段抽水量與穩定洩降量繪製為半對數曲線圖，有時在較高抽水量的情況下，因水井損失的比重加大，造成擾流以致產生了額外洩降，顯示抽水已超出水井之理想抽水量，可由此一斜率變化之處所對應之抽水量，推估得本抽水井之安全出水量。

受限於現場狀況無法因為分級抽水之需要予以變更不同之功率，本抽水井四階段分級抽水，在圖4.3洩降半對數座標下無明顯斜率變化之處，洩降量平穩且無井體濾水管暴露之現象，參考定量抽水結果亦是如此，若主抽水井能放置比現有更大功率或馬力之抽水馬達，應能使得洩降圖形產生明顯斜率變化甚至極限降伏點，推論現有主井之抽水量應未超出安全出水量，故保守取最大水井抽水量 $21.75 \text{ m}^3/\text{hr}$ 為安全出水量。

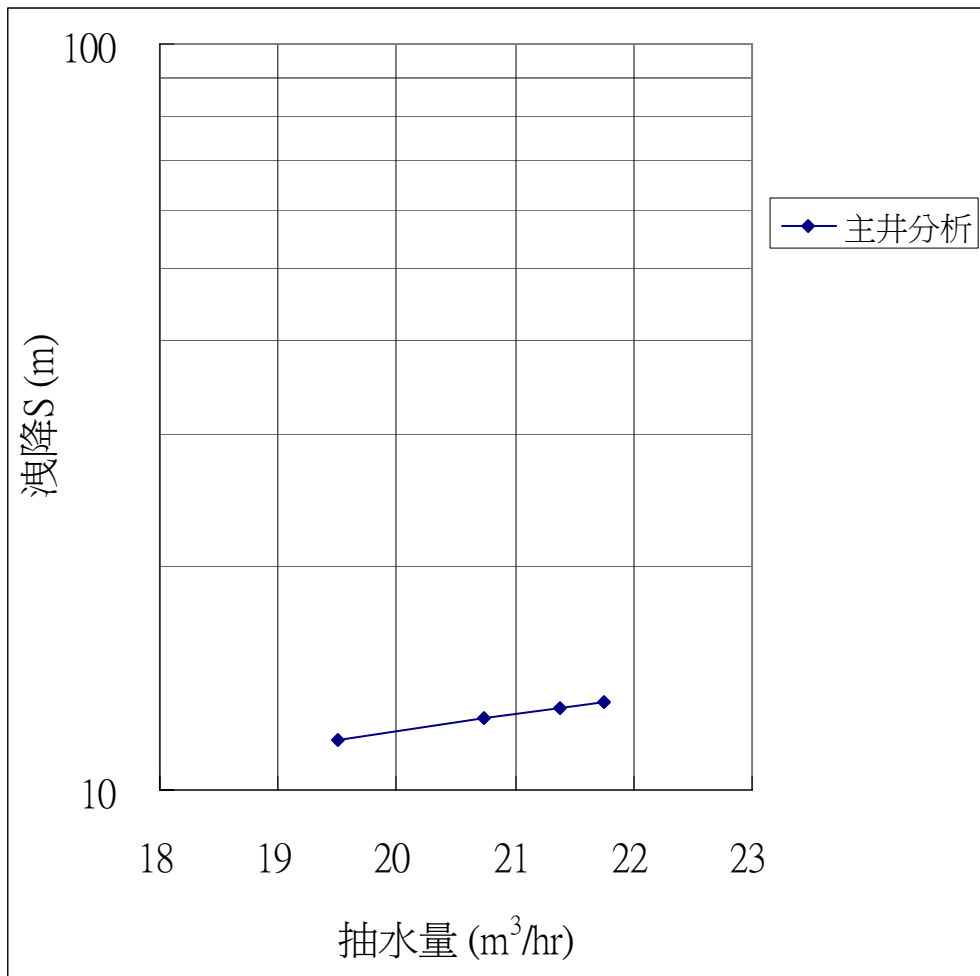


圖 4.3 分級抽水 抽水量-log 洩降量曲線關係圖

4.2 定量抽水試驗

由於抽水主井內水流狀況理論上為亂流，水位洩降較為不穩定，一般於抽水試驗結果分析時，通常不引用抽水主井之量測值，而只採用觀測井(水位計)之量測值分析。

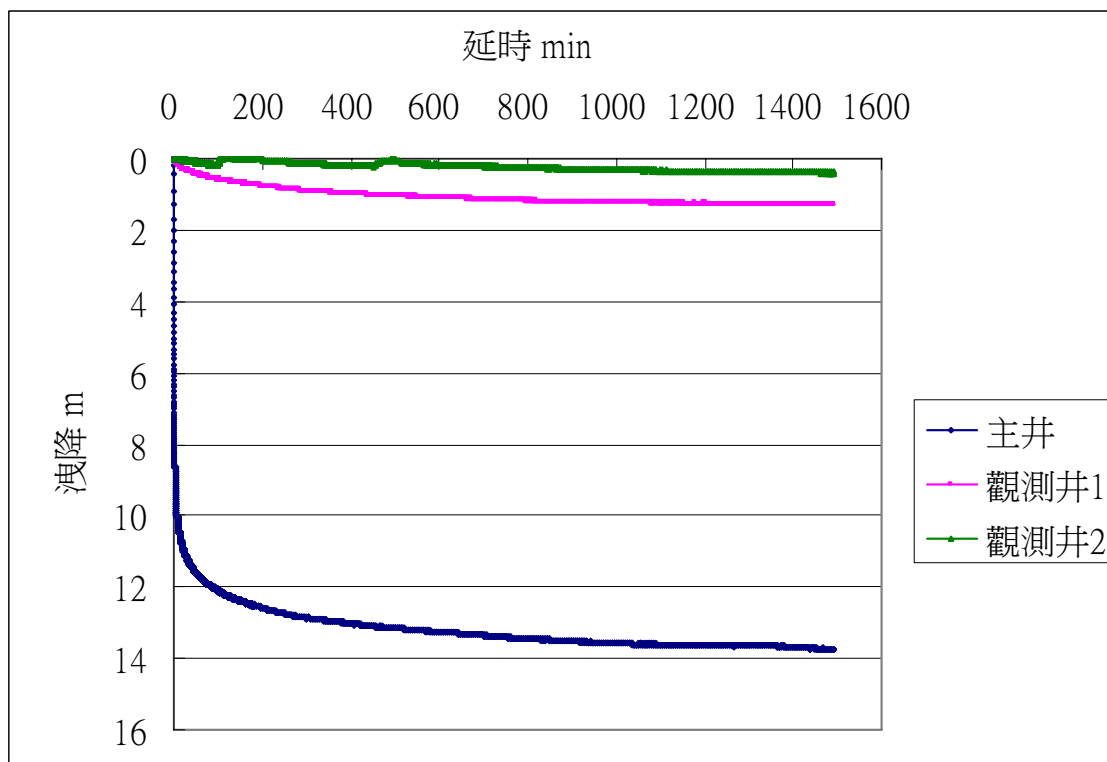


圖 4.4 定量抽水 $S-\log(t)$ 曲線圖

※觀測井 2 距抽水主井較遠，洩降量較小，試驗過程中又遇斷續降雨，造成觀測井 2 之水位有部份回升現象。

【Jacob 分析法】

依據Theis 公式，當抽水井和觀測井的距離不大，抽水持續時間長時， u 趨小，當 $u < 0.05$ 時，即可以Jacob 不平衡公式得到水理參數。因此繪製觀測井量測所得之 $S \sim \log(t)$ 關係圖即可得：

$$T = 0.183 \times Q \times \log(t_2/t_1) / (S_1 - S_2) \text{-----Jacob (4.4式)}$$

$$\lambda = 2.25 \times T \times t_0 / r^2 \quad \text{本試驗 } S \sim \log(t) \text{ 關係圖如圖4.3所示}$$

其中：

T ：導水係數， m^2/min

K：滲透係數， m^2/min

λ ：儲水係數

D：含水層厚度，m。參考主井打設時鑽孔柱狀圖，假設岩層為相對不透水層，推定GL-16M~46M之破碎岩塊層為一較佳之可滲漏局限含水層，含水層厚度D約等於30m。

Q：抽水量， m^3/min

r：觀測井距抽水主井之距離，m

t：抽水時間min

S：水位洩降量，m

本次試驗各項水理參數分析採用上述Jacob分析法，利用定量抽水試驗 $S-\text{Log}(t)$ 曲線圖獲得關係趨勢線公式， X_1 與 X_2 原則上取穩定直線段分析，帶入趨勢線公式中之乘常數與加常數獲得 S_1 與 S_2 ，亦可利用趨勢線公式計算 $S=0$ 時之 t_0 之值，並依據上述Jacob（4.4式）計算如表4.2所示，並獲得各項水理參數值。

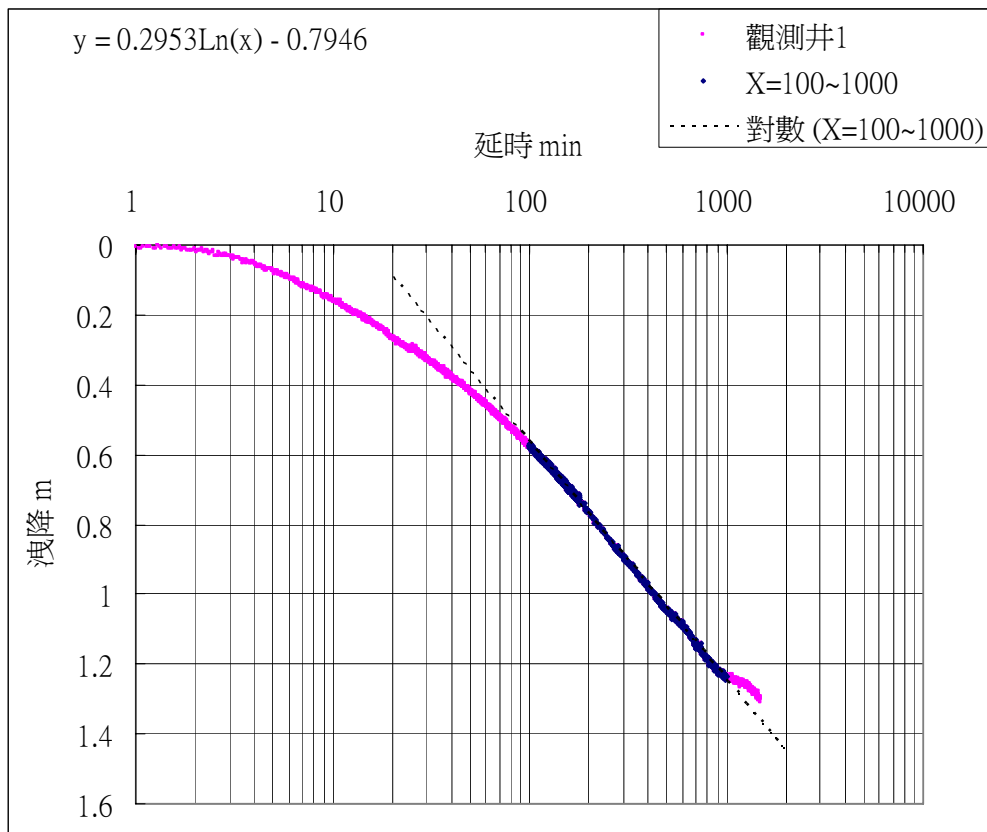


圖 4.5 定量抽水觀測 1 井 S—log(t)曲線圖

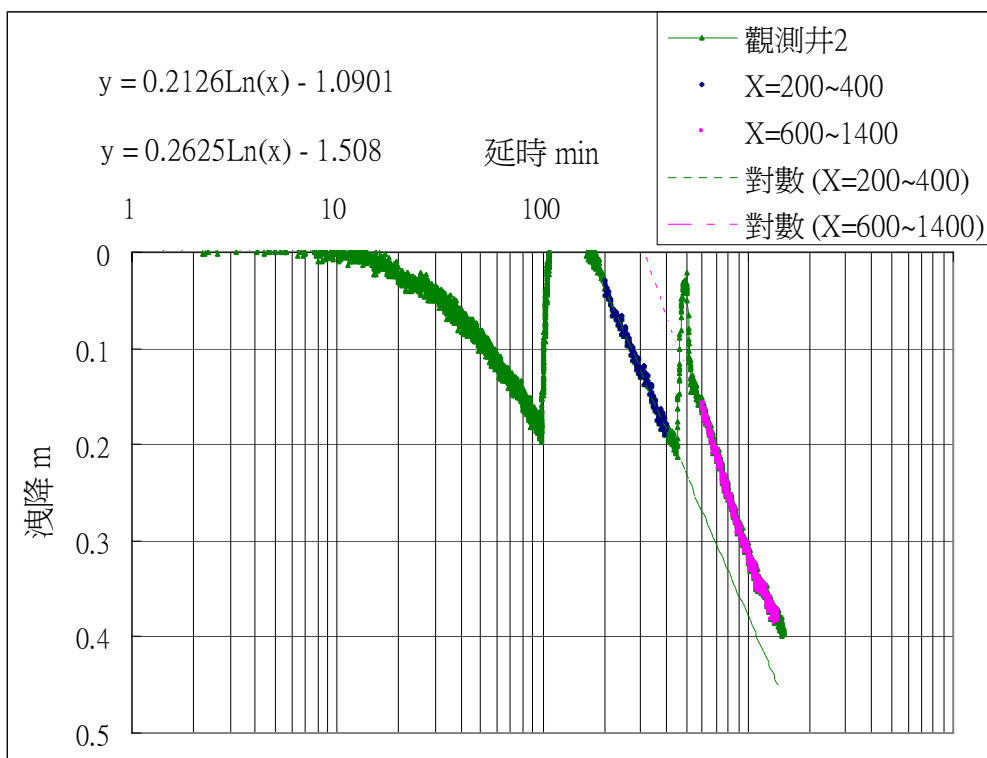


圖 4.6 定量抽水觀測 2 井 S—log(t)曲線圖

4.3 水位回復試驗

定量抽水試驗結束，隨即觀測記錄水位之回復情形，藉以檢核含水層導水係數 T 。回升水位與原靜水位間之水位差稱為殘餘洩降，觀測結果以殘餘洩降為縱座標，抽水延時 t 與抽水停止起之延時 t' 之比值為橫座標，點繪成圖4.6殘餘洩降關係圖。當抽水井停止抽水後，水井本身之水位會逐漸回復，基於注入與抽水量 Q 與 $-Q$ 相等之概念，導出理論式如下：

$$T=0.183 \times Q \times \text{Log}(t/t') / (S_1 - S_2) \text{-----Jacob (4.6式)}$$

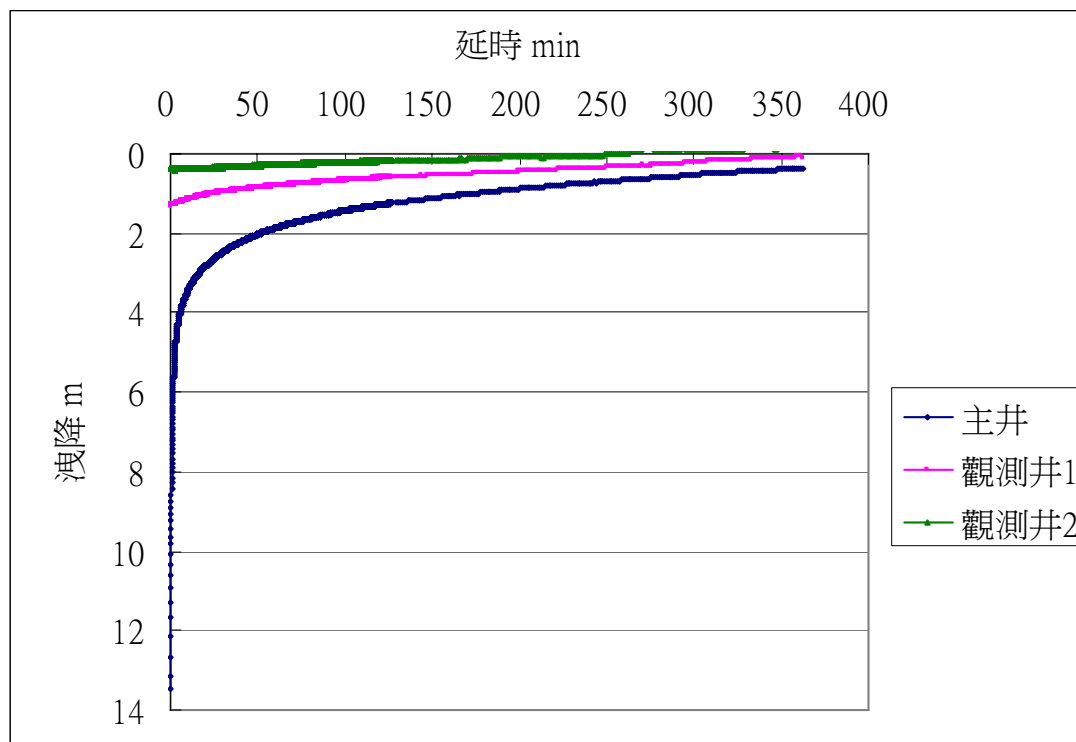


圖 4.7 回復試驗殘餘洩降曲線圖

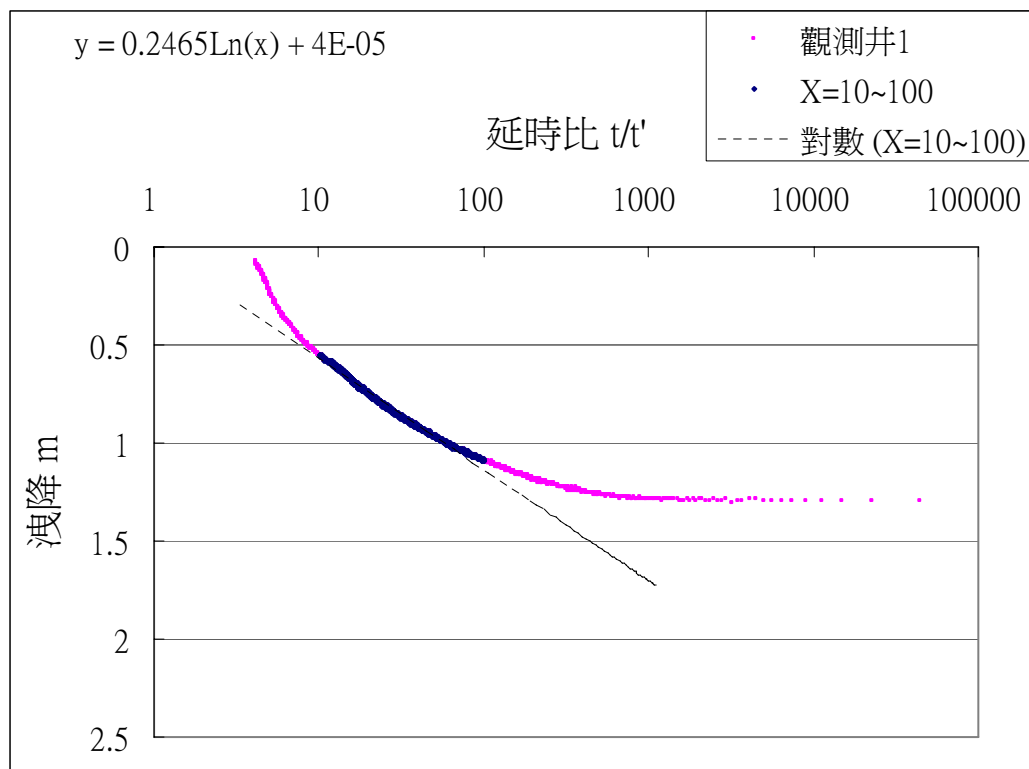


圖 4.8 回復試驗觀測 1 井 $S - \log(t/t')$ 曲線圖

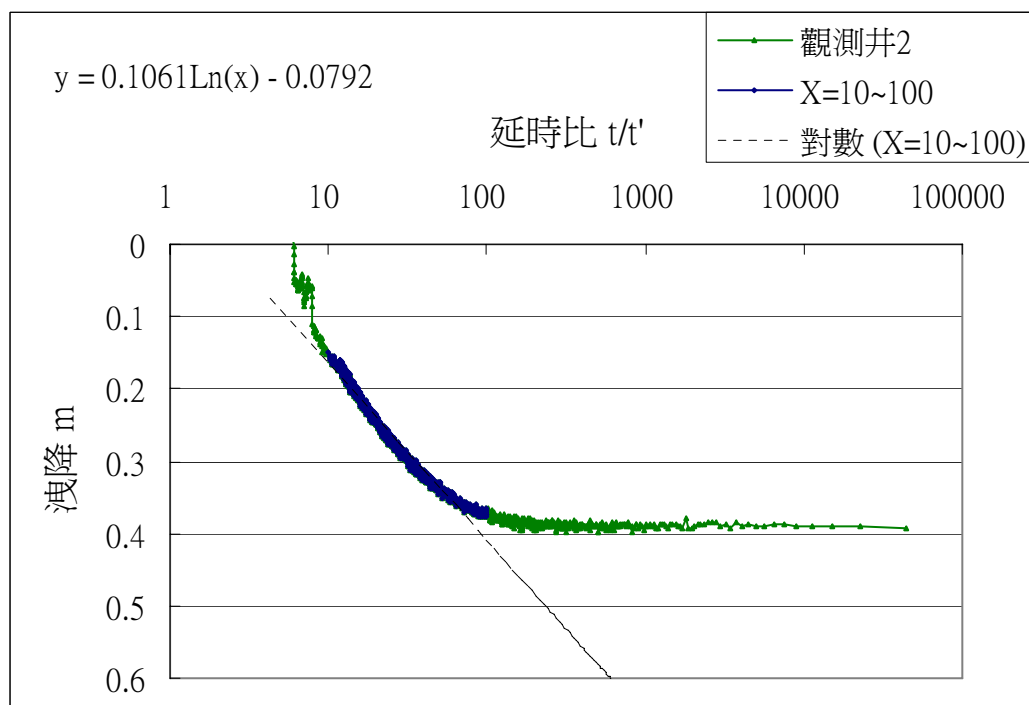


圖 4.9 回復試驗觀測 2 井 $S - \log(t/t')$ 曲線圖

表 4.2 Jacob 定量抽水單井水理係數計算結果表

取 X 軸=100~1000 min			定量抽水－圖 4.4 方程式				抽水量	導水係數	t_0	儲水係數	含水層	滲透係數
井號	乘常數	加常數	$x=(t_1)$	$x=(t_2)$	$S_1(m)$	$S_2(m)$	$Q=(m^3/min)$	$T(m^2/min)$	$X=?(min)$	λ	$D(m)$	$K(m/min)$
1	0.2953	-0.7946	100	1000.0	0.57	1.25	0.3545	0.09541	1.474E+01	3.1650	30	0.003180
取 X 軸=200~400 min			定量抽水－圖 4.5 方程式				抽水量	導水係數	$(t_1/r^2)_{S=0}$	儲水係數	含水層	滲透係數
井號	乘常數	加常數	$x=(t_1/r^2)$	$x=(t_2/r^2)$	$S_1(m)$	$S_2(m)$	$Q=(m^3/min)$	$T(m^2/min)$	$X=?$	λ	$D(m)$	$K(m/min)$
2	0.2126	-1.0901	200	400.0	0.04	0.18	0.3545	0.13252	--	--	30	0.004417
取 X 軸=600~1400 min			定量抽水－圖 4.5 方程式				抽水量	導水係數	$(t_1/r^2)_{S=0}$	儲水係數	含水層	滲透係數
井號	乘常數	加常數	$x=(t_1/r^2)$	$x=(t_2/r^2)$	$S_1(m)$	$S_2(m)$	$Q=(m^3/min)$	$T(m^2/min)$	$X=?$	λ	$D(m)$	$K(m/min)$
2	0.2625	-1.5080	600	1400.0	0.17	0.39	0.3545	0.10733	--	--	30	0.003578

表 4.3 Jacob 回水試驗水力係數計算結果表

取 X 軸=10~100			回水－圖 4.7 方程式				抽水量	導水係數				
井號	乘常數	加常數	$x=(t_1)$	$x=(t_2)$	$S_1(m)$	$S_2(m)$	$Q= (m^3/min)$	$T (m^2/min)$				
1	0.2465	0.00004	10	100	0.57	1.14	0.3545	0.11430				
取 X 軸=10~100			回水－圖 4.8 方程式				抽水量	導水係數				
井號	乘常數	加常數	$x=(t_1/r^2)$	$x=(t_2/r^2)$	$S_1(m)$	$S_2(m)$	$Q= (m^3/min)$	$T (m^2/min)$				
2	0.1061	-0.0792	10	100	0.17	0.41	0.3545	0.26554				

五、結論與建議

【1】水理參數定義說明如下

水井效率：含水層阻力佔井體阻力與含水層阻力總和的百分比謂之

水井安全出水量：係指水井本身因水層特性、水層厚度、井體構造等條件限定下之最大極限水量，凡水井抽水，在不致引起水層物理特性改變，亦不致造成井體濾水管暴露，而能維持長時間抽水量之最大出水量謂之。

導水係數 T ：單位寬度之整個地下含水層所能流通地下水之能力。

儲水係數 λ ：水頭降低一單位高度下，整個地下含水層柱體之單位面積土壤所能排出之單位體積儲水量。

水力傳導係數or滲透係數 K ：用以形容透水性介質中水份移動速率的正比係數。

【2】受限於現場狀況無法因為分級抽水之需要予以變更不同之功率，本抽水井四階段分級抽水，在圖4.3洩降半對數座標下無明顯斜率變化之處，洩降量平穩且無井體濾水管暴露之現象，參考定量抽水結果亦是如此，若主抽水井能放置比現有更大功率或馬力之抽水馬達，應能使得洩降圖形產生明顯斜率變化甚至極限降伏點，推論現有主井之抽水量應未超出安全出水量，故保守取最大水井抽水量 $21.75 \text{ m}^3/\text{hr}$ 為安全出水量，在抽水量小於 $21.75 \text{ m}^3/\text{hr}$ 範圍內，水井效率為

94.6%。

【3】參考本次定量抽水與回水試驗結果：

平均導水係數 $T=0.112(\text{m}^2/\text{min})$

平均滲透係數 $K=0.00372(\text{m}/\text{min})$

儲水係數 $\lambda=3.165$

【4】由於回水試驗後期基地內有較強之降雨，與其距離較遠之水位觀測井2原來的洩降就較微小，回水速度受降雨之影響有加快的現象，因此建議其回水階段之水理參數僅作參考檢核不予列入平均計算。