

受壓含水層抽水試驗資料分析：統計法

Analysis of Confined Aquifer Pumping Test Data Using Statistic Approach

國立臺灣大學農業工程學系副教授

林 俊 男

摘 要

受壓含水層系統之抽水試驗資料，由聯立非線性 Theis 方程式建立導水係數 (T) 及儲水係數 (S) 獨立數據。並利用統計方法分析 T 及 S 值常態分配之均值及標準差。又利用假設檢定分析不同觀測距離所造成各組羣統計量差異是否顯著，同時探討：

- (1) 聯立方程式無解或不合理解之判別
 - (2) 觀測誤差對於分析 T 及 S 值之影響
 - (3) 干擾觀測數據之篩檢
- 並以實例說明之

ABSTRACT

In the confined aquifer system, the transmissivity and coefficient of storage are solved by the nonlinear system of the Theis equation from pump test data. The statistic estimates of normal distribution are analyzed, and the different estimates from varied distance data discussed by hypothesis test.

The following subjects are also discussed:

- (1) Valuation of no solution of the system equation.
- (2) Influence of the error by the observed data.
- (3) The method discard the unsuitable data.

壹、前 言

地下水為國家天然資源，為確保地下水資源之永續利用對於地下水資源之保育、管理及地下水污染之調查及防治皆不遺餘力。欲瞭解地下水流動法則，首先必須探討含水層之地文參數。此首要之工作普遍由抽水試驗經分析而獲得。試驗資料，必然有誤差存在，這些誤差包括：

(一)人為錯誤 (Personal Error)：錯誤記載、誤讀等。

(二)系統性誤差 (Systematic Error)：此類誤差非隨機性出現，包括

(1)理論性誤差 (Theoretical Error)：如邊界條件、地質等向性、等質性、等厚性、抽水井設計，與引用基型曲線 (Type Curve) 不符等等。

(2)儀器性誤差 (Instrumental Error)：如儀表刻度誤差、儀表磨擦增加等等。

(3)個人性誤差 (Personal Error)：觀測者反應、習性所造成的。

(三)機會性誤差 (Chance Error)：與事物本性無關，係由不規律之原因所引起。具有隨機性。

系統性誤差，引起試驗分析結果之正確性 (Accuracy)。此類誤差，由現場之瞭解、地質之判斷、儀器之校正及個人之經驗，可加以修正或減低。而大多數的隨機誤差可依統計方法加以處理。至於不合理錯誤則應以摒棄。本文擬以受壓含水層之系統為例，先討論不合理資料之判別，及微小觀測誤差對於分析導水係數及儲水係數靈敏度之影響。再應用統計方法尋求抽水試驗欲分析之導水係數及儲水係數。

貳、文獻探討

受壓含水層抽水試驗之地文參數：導水係數 (Transmissivity T) 及儲水係數 (Coefficient of storage S) 之分析，可分為幾種方法：

(一)圖解法：利用基型曲線 (Type Curve)，尋求配對點 (Match point) 如 Theis 法 (1935)⁽¹¹⁾。其他如 Slug 法⁽⁴⁾，回升試驗 (Recovery method)⁽⁴⁾，Cooper-Jacob 法 (1946)⁽⁴⁾，Chow 法 (1952)⁽⁴⁾。

(二)計算法：如分析穩定流之 Thiem 法⁽⁴⁾。

(三)計算機演算法：利用最小二乘法⁽¹³⁾ 或斜率配對法 (Slope-matching method) 或一階敏感分析法⁽⁶⁾ (First order sensitivity) 尋求 T、S 值。

上述等各種方法，皆未談及分析資料之可用性與誤差之靈敏度。

參、受壓含水層 Theis 解

受壓含水層地下水流動現象，若基於下列之假設：

1. 含水層可延展至無限且受壓 (Confined)。
2. 含水層係各向性 (Isotropic)，等質性 (Homogeneous)，等厚性 (Uniform thickness)。
3. 抽水井完全貫穿含水層，即水平流向抽水井。
4. 導水係數 T 及儲水係數 S，不隨時間變動。
5. 抽水試驗期間，抽水量維持固定。
6. 抽水井為一無限小之井管。
7. 地下水自控制體積內釋出，係由水頭減低立即反應之結果，無延遲現象。

則地下水流動方程式為：

$$\frac{\partial^2 s}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial s}{\partial r} = \frac{S}{T} \frac{\partial s}{\partial t} \quad (3-1)$$

初始條件 $r > 0 \quad t = 0 \quad s(r, 0) = 0$

邊界條件 $r > 0 \quad t \rightarrow \infty \quad s(r, \infty) = 0$

$$r > 0 \quad t > 0 \quad \lim_{r \rightarrow 0} (2\pi r T \frac{\partial s}{\partial r}) = -Q$$

(3-1) 式之解析解即為 Theis 方程式：

$$s = \frac{Q}{4\pi T} \int_u^\infty \frac{1}{y} e^{-y} dy \quad (3-2)$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt}$$

$$w(u) = \int_u^\infty \frac{\text{EXP}(-y)}{y} dy$$

$$= \gamma - \ln u - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^n u^n}{n n!}$$

W(u) 水井函數或指數積分函數 (Exponential Integral)

s：洩降 (L)

r：觀測井與抽水井距離 (L)

t：洩降觀測時間 (T)

T：導水係數 (L*L/T)

S：儲水係數

Q：抽水量 (L*L*L/T)

y：啞變數

r：Euler 常數 0.5772156649

肆、資料可用性檢定及干擾分析

每一次觀測井之觀測資料，可視為獨立事件產生之樣本。(3-2) 式中僅有二個未知數 S 及 T 值，因此若有二次觀測值，即可形成二個方程式聯立之，應可分析 S 及 T 值。

(第一次觀測資料)

$$\left. \begin{aligned} s_1 &= \frac{Q}{4\pi T} \int_{u_1}^\infty \frac{1}{y} e^{-y} dy & u_1 &= \frac{r_1^2 S}{4Tt_1} \\ s_2 &= \frac{Q}{4\pi T} \int_{u_2}^\infty \frac{1}{y} e^{-y} dy & u_2 &= \frac{r_2^2 S}{4Tt_2} \end{aligned} \right\} (4-1)$$

(第二次觀測資料)

此為非線性聯立方程式。

換言之，若有二個獨立之觀測值，即可產生一組獨立之 T 及 S 值。若完全符合 (3-1) 式之假設條件及完全沒有觀測誤差，僅有二次觀測值，應可尋求 T 及 S 值。但實際現場資料所造成之誤差不可避免，這些誤差將造成 4-1 式為無解或非合理解，茲

將判定方法說明如下：

由 (4-1) 式

$$\begin{aligned}
 s_1 - s_2 &= \frac{Q}{4\pi T} \left(\int_{u_1}^{\infty} \frac{1}{y} e^{-y} dy - \int_{u_2}^{\infty} \frac{1}{y} e^{-y} dy \right) \\
 &= \frac{Q}{4\pi T} \int_{u_1}^{u_2} \frac{1}{y} e^{-y} dy \\
 &= \frac{Q}{4\pi T} (u_2 - u_1) \frac{1}{u_0} e^{-u_0} \\
 &\quad u_1 \leq u_0 \leq u_2 \quad \text{均值定理} \\
 &= \frac{Q}{4\pi T} \cdot \frac{S}{4T} \left(\frac{r_2^2}{t_2} - \frac{r_1^2}{t_1} \right) \frac{1}{u_0} e^{-u_0} \quad (4-2)
 \end{aligned}$$

$$\text{由於 } \frac{Q}{4\pi T} \frac{S}{4T} \frac{e^{-u_0}}{u_0} > 0$$

$$\text{則 } (s_1 - s_2) \text{ 需與 } \frac{r_1^2}{t_1} - \frac{r_2^2}{t_2} \text{ 異號} \quad (4-2-1)$$

若為同號則 (4-1) 式應為無解。

$$\text{又由 (4-1) 式 } \frac{s_1}{s_2} = \frac{\int_{u_1}^{\infty} \frac{1}{y} e^{-y} dy}{\int_{u_2}^{\infty} \frac{1}{y} e^{-y} dy} = \frac{W(u_1)}{W(u_2)} \quad (4-3)$$

為 S/T 非線性函數。若 $W(u_1)$ 與 $W(u_2)$ 趨近於 0，則 (4-3) 式依

$$\text{L'Hospital's 定理 } \frac{s_1}{s_2} = \frac{-\frac{1}{u_1} e^{-u_1}}{-\frac{1}{u_2} e^{-u_2}}$$

$$\text{即 } \ln\left(\frac{s_1 r_1^2}{t_1}\right) - \ln\left(\frac{s_2 r_2^2}{t_2}\right) = \frac{S}{4T} \left(\frac{r_2^2}{t_2} - \frac{r_1^2}{t_1} \right) \quad (4-4)$$

由於 $W(8)^{(3)} = 0.000038$ 。因此若 (4-3) 式之 u_1 及 u_2 皆大於 8，可視為

$W(u_1) \rightarrow 0, W(u_2) \rightarrow 0$ ，則 (4-4) 式可成立。即

$$\frac{S}{T} = 4 \left[\ln\left(\frac{s_1 r_1^2}{t_1}\right) - \ln\left(\frac{s_2 r_2^2}{t_2}\right) \right] / \left(\frac{r_2^2}{t_2} - \frac{r_1^2}{t_1} \right)$$

換言之，若 (4-3) 式 u_1 及 u_2 皆大於 8，且

$$\ln\left(\frac{s_1 r_1^2}{t_1}\right) - \ln\left(\frac{s_2 r_2^2}{t_2}\right) \text{ 與 } \left(\frac{r_1^2}{t_1} - \frac{r_2^2}{t_2} \right) \text{ 同號}$$

可視為無解存在。

(4-3) 式 S/T 值係由二個觀測值產生。若有一觀測錯誤，將會導入 (4-3) 式解存在與否。因此依上述判斷之條件分析無解存在或不理解存在之組合。發生次數最多者視為不可靠資料之導入者，

優先摒棄。依此性質逐次分析此干擾性質，去除不可靠之資料，則可篩檢出較合理之資料。

伍、觀測誤差對於分析 S、T 值之影響

於受壓含水層系統中，影響 T 及 S 值之變因，計有：時間 (t)、洩降 (s)、抽水量 (Q) 及觀測井與抽水井之距離 (r)，這些因時因地之觀測誤差，將對 T 值 S 值分析結果之影響程度亦有所不同。譬如抽水試驗初期半分鐘之誤差，與後半分鐘之誤差，對 T 值及 S 值之偏差，前者較大；後者較小，此為不理解產生之主要原因。茲將各變因產生之誤差對於 T、S 值之影響分析於後：

設 $X = S/T$

$$W(u+du) = W(u) + (dw/du) du$$

$$f(*) = W(u_1) \text{EXP}(-u_2) - W(u_2) \text{EXP}(-u_1)$$

$$g(*) = \text{EXP}(-u_1)/f(*)$$

$$h(*) = [W(u_1) - \text{EXP}(-u_1)]/f(*)$$

並假設 (4-1) 式之誤差皆由第二組資料所導入，且以下所討論者皆考慮單一變因之誤差，其餘皆為正確值。

(一) 抽水量誤差之影響

由 (4-1) 式

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_1) = \frac{Q}{4\pi(T+dT)} W(u_1 + du_1)$$

$$s_2 = \frac{Q+dQ}{4\pi T} W(u_2) = \frac{Q}{4\pi(T+dT)} W(u_2 + du_2)$$

(Q+dQ 對 s_2 而言為真值)

$$du = -\frac{u}{X} dX$$

$$\text{則 } \frac{dT}{dQ} = -\frac{T}{Q} W(u_2) g(*) \quad (5-1)$$

$$\frac{dS}{dQ} = -\frac{S}{Q} W(u_2) h(*) \quad (5-2)$$

(二) 時間誤差之影響

由 (4-1) 式

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_1) = \frac{Q}{4\pi(T+dT)} W(u_1 + du_1)$$

$$s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_2) = \frac{Q}{4\pi(T+dT)} W(u_2 + du_2)$$

$$du = \frac{\partial u}{\partial t} dt + \frac{\partial u}{\partial X} dX$$

$$= -\frac{u}{t} dt + \frac{u}{X} dX$$

$$dt_1 = 0$$

$$\text{則 } \frac{dT}{dt_2} = -\frac{T}{t_2} e^{-u_2} g(*) \quad (5-3)$$

$$\frac{dS}{dt_2} = \frac{S}{t_2} e^{-u_2} h(*) \quad (5-4)$$

(三) 距離誤差之影響

由 (4-1) 式

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_1) = \frac{Q}{4\pi(T+dr)} W(u_1+du_1)$$

$$s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_2) = \frac{Q}{4\pi(T+dr)} W(u_2+du_2)$$

$$du = \frac{\partial u}{\partial r} dr + \frac{\partial u}{\partial X} dX$$

$$= \frac{2u}{r} dr + \frac{u}{X} dX$$

$$dr_1 = 0$$

$$\text{則 } \frac{dT}{dr_2} = \frac{2T}{r_2} e^{-u_2} g(*) \quad (5-5)$$

$$\frac{dS}{dr_2} = -\frac{2S}{r_2} e^{-u_2} h(*) \quad (5-6)$$

(四) 洩降誤差之影響

由 (4-1) 式

$$s_1 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_1) = \frac{Q}{4\pi(T+dT)} W(u_1+du_1)$$

$$s_2 = \frac{Q}{4\pi T} W(u_2)$$

$$s_2 + ds_2 = \frac{Q}{4\pi(T+dT)} W(u_2+du_2)$$

$$du = -\frac{u}{X} dX$$

$$\text{則 } \frac{dT}{ds_2} = \frac{T}{s_2} W(u_2) g(*) \quad (5-7)$$

$$\frac{dS}{ds_2} = -\frac{S}{s_2} W(u_2) h(*) \quad (5-8)$$

一般而言，dT、dS 之誤差皆與 dQ、dr、dt、ds 成正比，且與 u₁、u₂ 有關，即距離、時間有關，且需注意 f(*)=0 之臨界點將產生極大之誤差。

陸 實 例

茲以二種案例之抽水試驗資料，應用統計方法闡明分析資料之可靠性。一是與基型曲線配對相當良好之資料 (表6-1)，另一為較差者 (表6-2)。

(一) 表6-1 抽水試驗資料分析

原獨立觀測數據有25點，其基型曲線配對法見圖 6-1。可產生 300 組之 S、T 值樣本資料，經 (4-2-1) 式及 (4-4-1) 式篩檢，皆可由 (4-3) 式解出 300 組 S 及 T 值。

S、T 值之分佈如圖 6-3、圖6-4 視為常態分配，各項統計量見表6-5。

(二) 表6-2 抽水試驗資料分析

原獨立觀測數據有77點，其基型曲線配對法見圖 6-2，此資料可視為四次抽水試驗，一是距水井30公尺者，一為距90公尺者，一為距 215公尺者，另一為綜合。此四組資料經 (4-2-1) 及 (4-4-1) 篩檢，其結果列於表6-3。不合乎(4-3)式解原因之統計，列於表 6-4。綜合資料經篩檢，將產生無解

表 6-1 抽水試驗觀測資料(一)⁽¹²⁾

抽水量 Q=2500 CMD

距 離 (m)	時 間 (min)	洩 降 (m)	編 號
60.00	1.00	0.200	001
60.00	1.50	0.207	002
60.00	2.00	0.300	003
60.00	2.50	0.340	004
60.00	3.00	0.370	005
60.00	4.00	0.410	006
60.00	5.00	0.450	007
60.00	6.00	0.480	008
60.00	8.00	0.530	009
60.00	10.00	0.570	010
60.00	12.00	0.600	011
60.00	14.00	0.630	012
60.00	18.00	0.670	013
60.00	24.00	0.720	014
60.00	30.00	0.760	015
60.00	40.00	0.810	016
60.00	50.00	0.850	017
60.00	60.00	0.900	018
60.00	80.00	0.930	019
60.00	100.00	0.960	020
60.00	120.00	1.000	021
60.00	150.00	1.040	022
60.00	180.00	1.070	023
60.00	210.00	1.100	024
60.00	240.00	1.120	025

* DATA FROM "GROUNDWATER HYDRAULICS" DAVID KEITH TODD, SECOND EDITION, JOHN WILEY & SONS INC., 1980 TABLE 4. 2, P127

表 6-2 抽水試驗資料⁽¹⁾ (二)

抽水量 Q=788.DO CMD

距離 (m)	時間 (min)	洩降 (m)	編號	距離 (m)	時間 (min)	洩降 (m)	編號
30.00	0.1	0.040	001	90.00	4.33	0.104	042
30.00	0.25	0.080	002	90.00	5.50	0.133	043
30.00	0.50	0.130	003	90.00	6.00	0.153	044
30.00	0.70	0.180	004	90.00	7.50	0.178	045
30.00	1.00	0.230	005	90.00	9.00	0.206	046
30.00	1.40	0.280	006	90.00	13.00	0.250	047
30.00	1.90	0.330	007	90.00	15.00	0.275	048
30.00	2.33	0.360	008	90.00	18.00	0.305	049
30.00	2.80	0.390	009	90.00	25.00	0.348	050
30.00	3.36	0.420	010	90.00	30.00	0.364	051
30.00	4.00	0.450	011	90.00	40.00	0.404	052
30.00	5.35	0.500	012	90.00	53.00	0.429	053
30.00	6.80	0.540	013	90.00	60.00	0.444	054
30.00	8.30	0.570	014	90.00	75.00	0.467	055
30.00	8.70	0.580	015	90.00	90.00	0.494	056
30.00	10.00	0.600	016	90.00	105.00	0.507	057
30.00	13.10	0.640	017	90.00	120.00	0.528	058
30.00	18.00	0.680	018	90.00	150.00	0.550	059
30.00	27.00	0.742	019	90.00	180.00	0.569	060
30.00	33.00	0.753	020	90.00	248.00	0.593	061
30.00	41.00	0.779	021	90.00	301.00	0.614	062
30.00	48.00	0.793	022	90.00	363.00	0.636	063
30.00	59.00	0.819	023	90.00	422.00	0.657	064
30.00	80.00	0.855	024	90.00	542.00	0.679	065
30.00	95.00	0.873	025	90.00	602.00	0.688	066
30.00	139.00	0.915	026	90.00	680.00	0.701	067
30.00	181.00	0.935	027	90.00	845.00	0.716	068
30.00	245.00	0.966	028	215.00	66.00	0.089	069
30.00	300.00	0.990	029	215.00	127.00	0.138	070
30.00	360.00	1.007	030	215.00	185.00	0.165	071
30.00	480.00	1.050	031	215.00	251.00	0.186	072
30.00	600.00	1.053	032	215.00	305.00	0.196	073
30.00	728.00	1.072	033	215.00	366.00	0.207	074
30.00	830.00	1.088	034	215.00	430.00	0.214	075
90.00	1.5	0.015	035	215.00	606.00	0.227	076
90.00	2.00	0.021	036	215.00	780.00	0.250	077
90.00	2.16	0.023	037				
90.00	2.66	0.044	038				
90.00	3.00	0.055	039				
90.00	3.50	0.075	040				
90.00	4.00	0.090	041				

* DATA FROM "ANALYSIS AND EVALUATION OF PUMPING TEST DATA."
—ILRI BULLETIN 11 TABLE 6 PAGE 53, 1983*

表 6-3 各次試驗篩檢結果

	觀測數	可產生 S、T 值 之組數	合乎 4-3 式解 之組數	不合乎 4-3 式解之組數
表 6-1	25	300	300	0
表 6-2 距離 30m	34	561	561	0
距離 90m	34	561	561	0
距離 215m	9	36	36	0
綜合組	77	2926	2670	256
篩檢組	44	946	946	0

表 6-4 不合乎 4-3 式解之原因統計

原因	解型式	次數
(一) $s_1 - s_2$ 與 $(\frac{r_1^2}{t_1} - \frac{r_2^2}{t_2})$ 同號	無解	227
(二) $s_1 - s_2 = 0$ 且 $(\frac{r_1^2}{t_1} - \frac{r_2^2}{t_2}) = 0$	無限解	3
(三) $S/T \rightarrow \infty$ $\ln(\frac{s_1 r_1^2}{t_1}) - \ln(\frac{s_2 r_2^2}{t_2})$ 與 $(\frac{r_1^2}{t_1} - \frac{r_2^2}{t_2})$ 同號	無解	4
(四) $S/T \rightarrow \infty$ $\ln(\frac{s_1 r_1^2}{t_1}) - \ln(\frac{s_2 r_2^2}{t_2})$ 與 $(\frac{r_1^2}{t_1} - \frac{r_2^2}{t_2})$ 異號 即 $T \rightarrow 0$ 或 $S \rightarrow \infty$	不合理的	22

及不合理的原始資料摒棄，另組成篩檢組資料。各項資料間之干擾及摒棄順序列於表 6-5。各組 T 及 S 值之分佈見圖 6-5、6-6、6-7、6-8、6-9、6-10、6-11、6-12、6-13、6-14。各組統計量亦見表 6-6。

(三) 假設檢定

檢定表 6-2 之 30m、90m、215m、綜合組、篩檢組是否可被視為同一組羣，即檢視樣本統計量之差異是否顯著。

虛無假設 (Null Hypothesis)

$$H_0: \mu_1 - \mu_2 = 0$$

對立假設 (Alternative Hypothesis)

$$H_1: \mu_1 - \mu_2 \neq 0$$

顯著水準 (Level of Significance)

$$\alpha = 0.05$$

統計量

$$\mu = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

進行假設檢定之結果(見表6-7)，皆大於1.645故應否定。但若顯著水準降低，90m與篩檢組之H。應可肯定，顯著水準又再降低，30m與90m之又可肯定。換言之，90m及30m之部份可視為具有相同之T值。與篩檢方式(即為90m及30m之一部份所組成)不謀而合。

(四) 若假設第一點之抽水量 $Q = 788 \text{ CMD}$

$$T = 0.311964 \text{ M}^* \text{M} / \text{min}$$

$$S = 0.21546 * E - 3$$

$$R = 90 \text{ M}$$

$$t = 2 \text{ min}$$

為正確值。第二點之抽水量微許誤差，對於T值分析結果之影響(即 dT/dQ)與第二點觀測距離、觀測時間有關見圖(6-15)。於 $dT/dQ \rightarrow \infty$ 之處，抽水量微許誤差將導引放大之T值。第二點之觀測時間微許誤差之影響(即 dT/dt_2)見圖(6-16)。

因茲將各種分析方法所得之結果列於表 6-8

表 6-6 導水係數、儲水係數各項統計

	導水係數 m^2/min		儲水係數	
	平均值	標準差	平均值	標準差
表 6-1	0.78977	0.13243E-01	0.19427E-03	0.11205E-04
表 6-2 距離 30m	0.33409	0.62179E-01	0.11476E-03	0.65320E-03
距離 90m	0.32114	0.90205E-01	0.20901E-03	0.90852E-04
距離 215m	0.71529	0.17123E+00	0.46741E-03	0.20089E-03
綜合組	0.27932	0.10676E+00	0.17905E-03	0.99655E-04
篩檢組	0.31196	0.82710E-01	0.21546E-03	0.93437E-04

表 6-7 T 值 假 設 檢 定

i	j	μ	$\alpha = 0.05$ $\alpha = 0.024$ $\alpha = 0.0025$		
			棄 却 區 域 臨 界 值		
			1.645	1.977	2.807
30 m	90 m	2.799647	>	>	<
30 m	215 m	13.30131	>	>	>
30 m	綜合組	16.39462	>	>	>
30 m	篩檢組	5.88865	>	>	>
90 m	215 m	13.68988	>	>	>
90 m	綜合組	9.65496	>	>	>
90 m	篩檢組	1.96937	>	<	<
215 m	綜合組	15.23677	>	>	>
215 m	篩檢組	14.07059	>	>	>
綜合組	篩檢組	9.624912	>	>	>

表 6-8 各種分析方法結果之比較

方 法		T (m^2/min)	S $\times 10^{-4}$
表 6-1	Theis ⁽¹²⁾	0.7708	2.06
	Cooper-Jacob ⁽¹³⁾	0.7569	1.84
	Chow ⁽¹³⁾	0.8056	2.06
	Finite-difference Newton ⁽¹³⁾	0.79097	1.93
	Automated Method ⁽⁷⁾	0.806	1.8
	統 計 法	0.78977	1.943
表 6-2	Theis ⁽⁴⁾	0.29028	1.7
	Chow ⁽⁴⁾	0.26042	2.2
	Jacob ⁽⁴⁾	0.27847	1.7
	統 計 法	0.31196	2.15

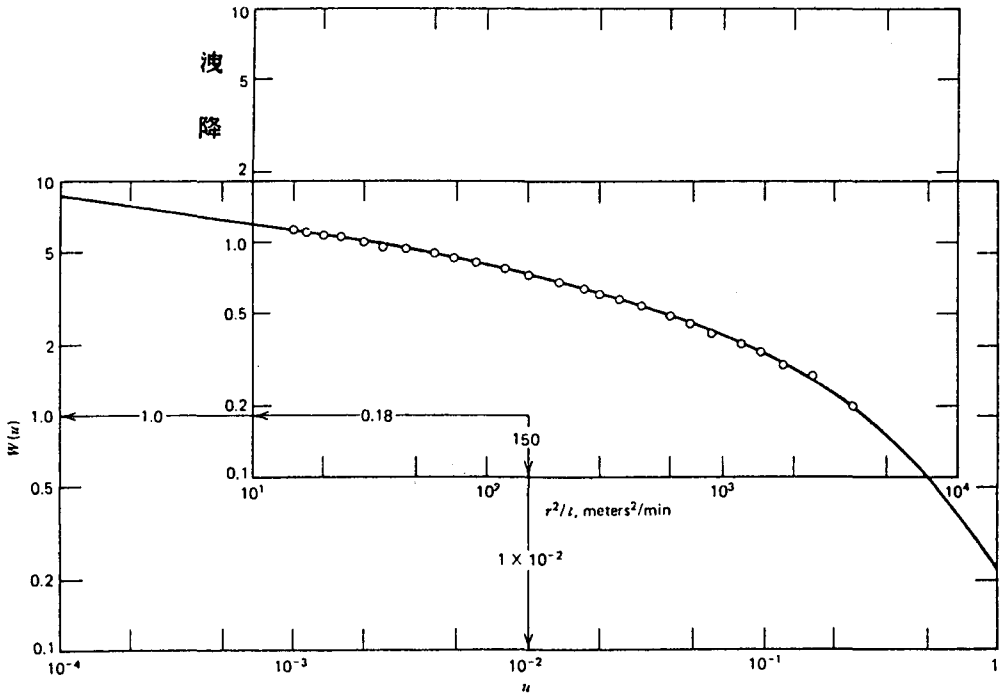


圖 6 - 1 Thisis 圖解法⁽²⁾ (表 6 - 1 抽水試驗資料)

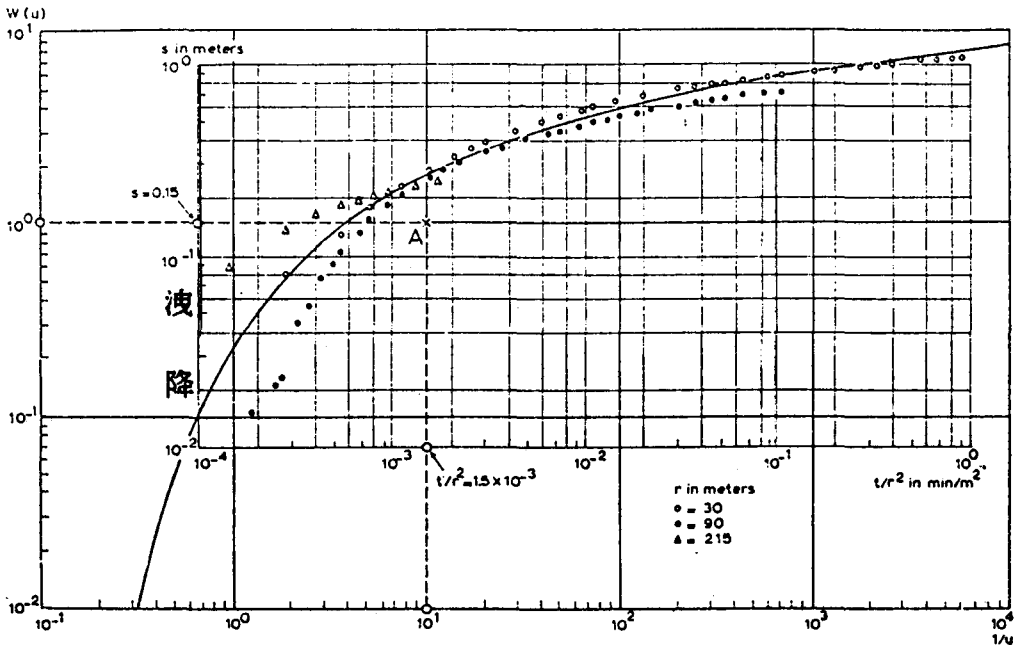


圖 6 - 2 Thisis 圖解法⁽⁴⁾ (表 6 - 2 抽水試驗資料)

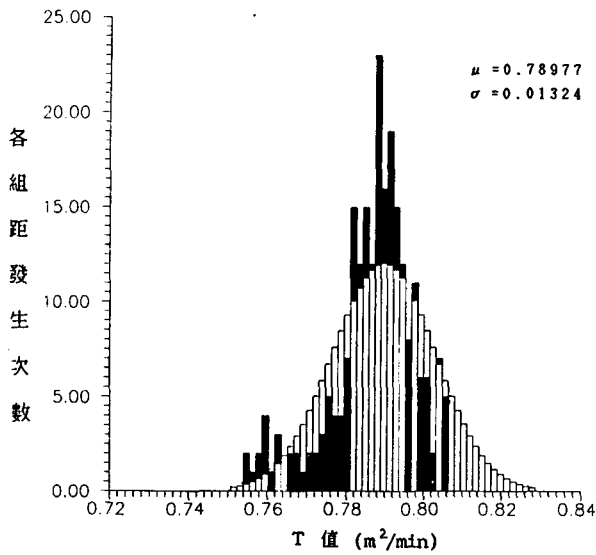


圖 6-3 表 6-1 導水係數分配圖

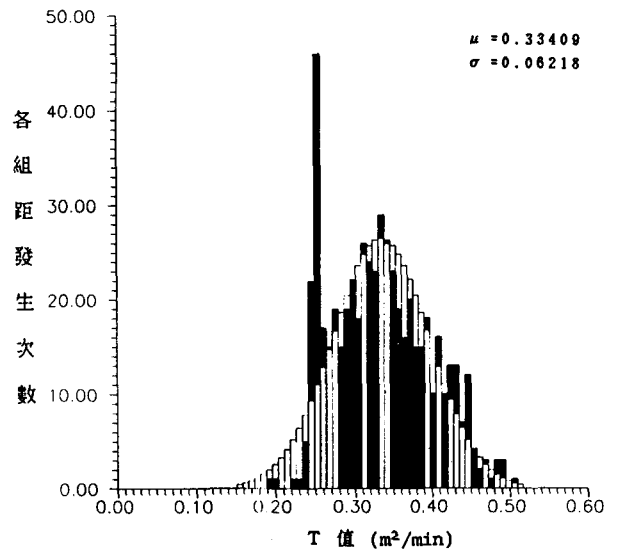


圖 6-5 表 6-2 距離 30 米處導水係數分配圖

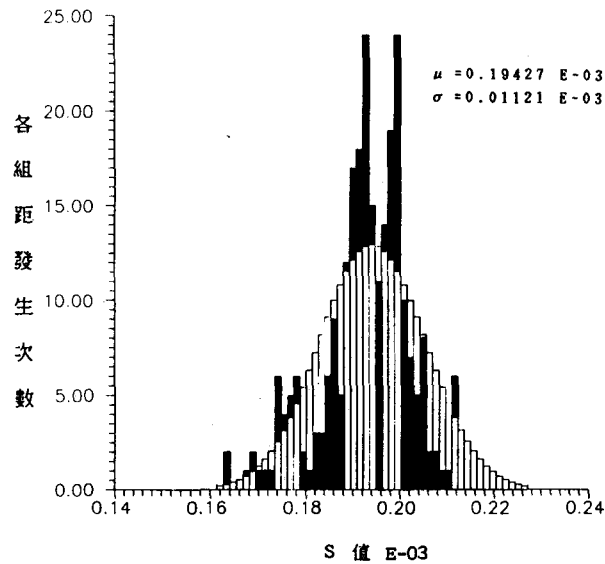


圖 6-4 表 6-1 儲水係數分配圖

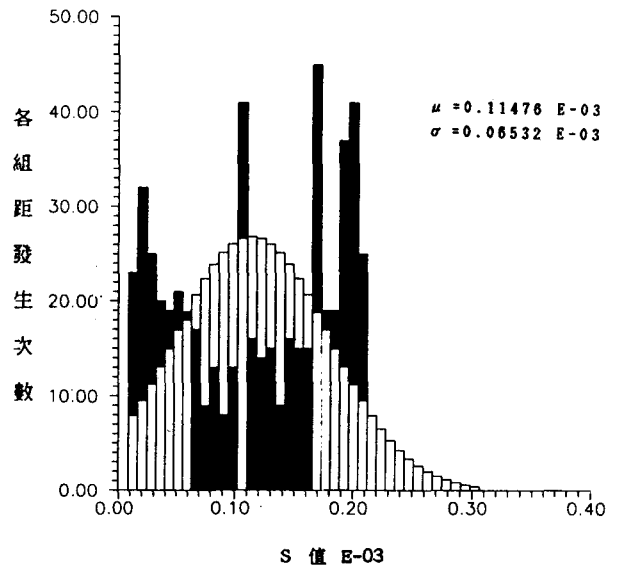


圖 6-6 表 6-2 距離 30 米處儲水係數分配圖

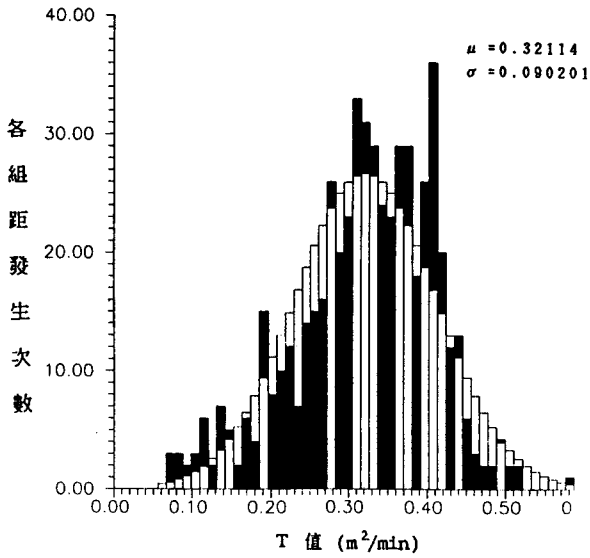


圖 6-7 表 6-2 距離 90 米處導水係數分配圖

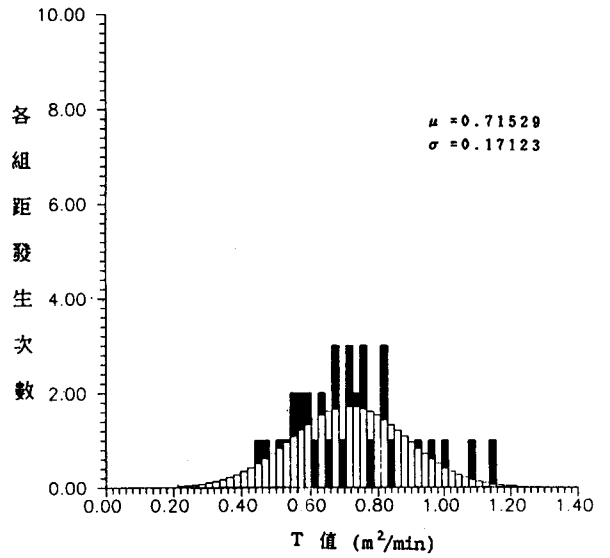


圖 6-9 表 6-2 距離 215 米處導水係數分配圖

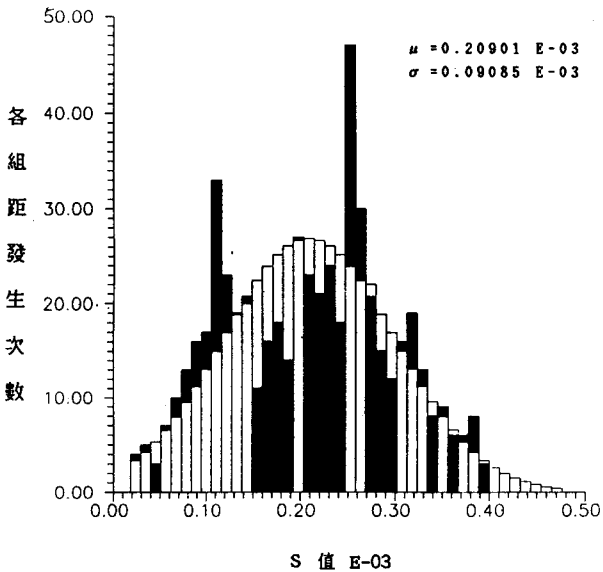


圖 6-8 表 6-2 距離 90 米處儲水係數分配圖

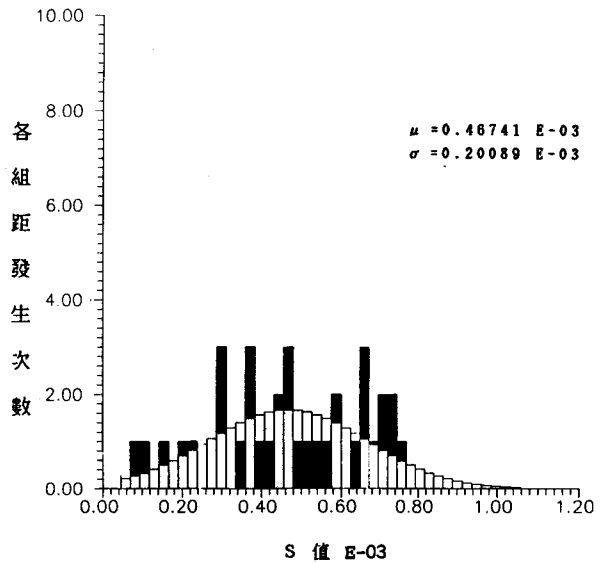


圖 6-10 表 6-2 距離 215 米處儲水係數分配圖

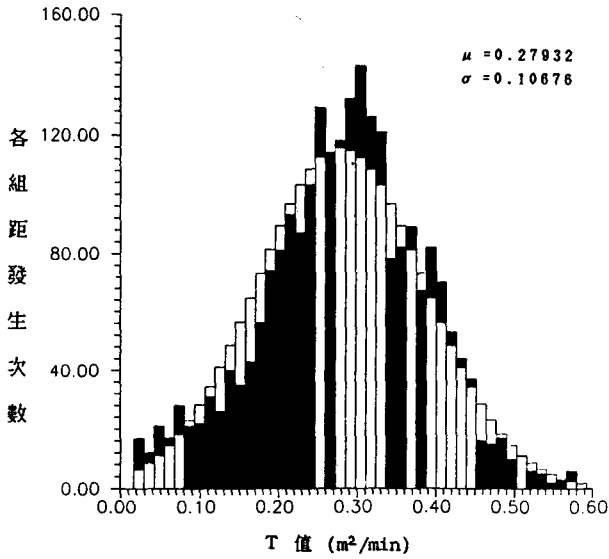


圖 6 - 11 表 6 - 2 綜合組導水係數分配圖

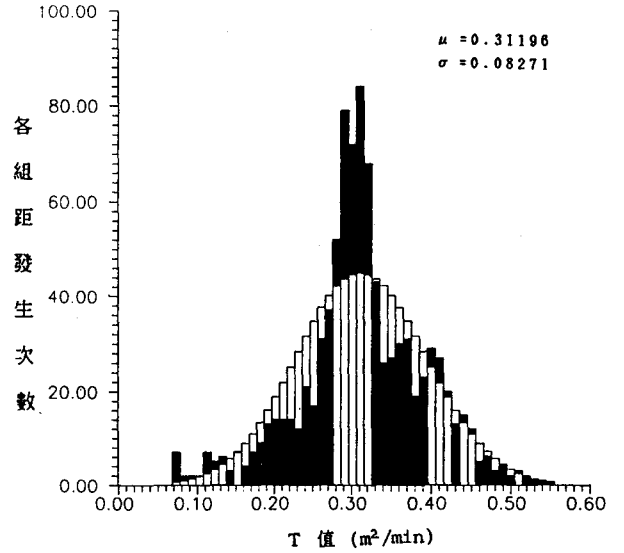


圖 6 - 13 表 6 - 2 篩檢組導水係數分配圖

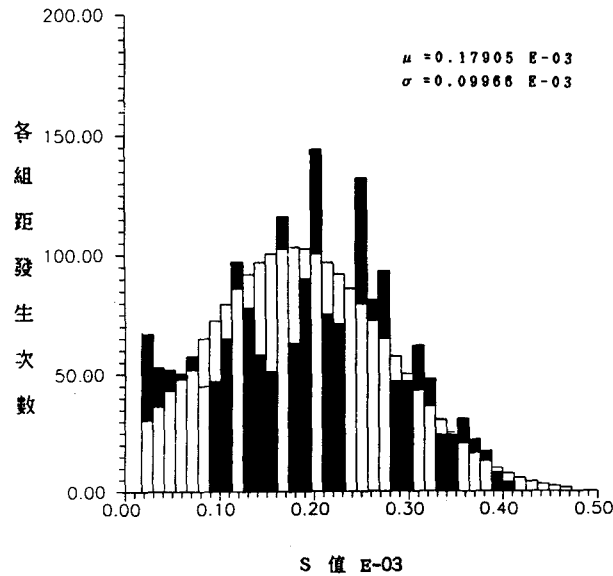


圖 6 - 12 表 6 - 2 綜合組儲水係數分配圖

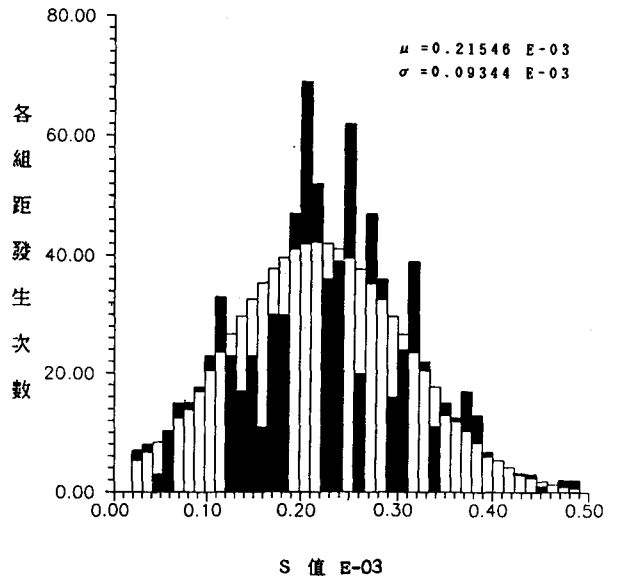


圖 6 - 14 表 6 - 2 篩檢組儲水係數分配圖

柒、結論與建議

由以上之分析可得下列之結論：

- (一)非所有觀測資料可作為分析之依據，應先篩檢。
- (二)不合理之數據有因距離、時間等之誤差而放大所致。
- (三)統計法，僅能表示出試驗分析之精確 (Precision)與否，而無法確認使用函數 (Type Function)之正確性 (Accuracy)，此尚需由地質資料之補助，加以判斷。此統計方法應可使用於滲漏含水層 (Leaky Aquifer)或自由含水層之類似分析。至於表 6-5 之例。距離 215m與距離 30m之資料顯著水準甚低，需另以其他方式如視為非等向性，或非均質性，或非受壓含水系統。

捌、參考文獻

- 1.曹以松：地下水，中國土木水利工程學會，民國 78年10月。
- 2.韓振學：推測統計學，臺灣開明書店，民國67年 9月，pp 152-223。
- 3.Abramowitz et al. 1967. Handbook of mathematical functions
- 4.Kruseman, G. P., Ridder, N. A., 1983. Analysis and evaluation of pumping test data. International Institute for Land Reclamation and Improvement /ILRI.
- 5.IBM. 1968. System/360 SSP Version III.
- 6.McElwee, C. D. 1980. Theis parameter evaluation from pumping test by sensitivity analysis. Ground Water v18, no. 6, pp 562-568.
- 7.Mukhopadhyay, A. 1985. Automated derivation of parameters in nonleaky confined aquifer with transient flow. Ground Water. v23. no. 6, pp 806-811.
- 8.Press, W. H., Flannery, B. P., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., 1986. Numerical Recipes, Cambridge University Press.
- 9.Rai, S. P., 1985. Numerical determination fo aquifer constants. Journal of

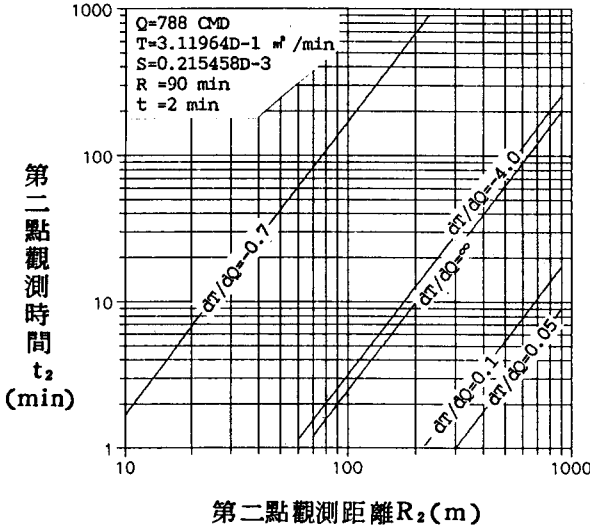


圖 6-15 R_2, t_2 對 dT/dQ 之影響

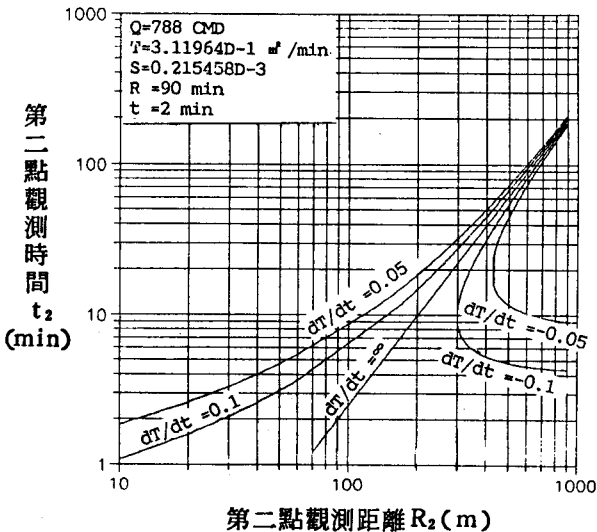


圖 6-16 R_2, t_2 對 dT/dt_2 之影響

- Hydraulic Engineering. ASCE. VIII. no. 7., pp 1110-1114.
10. Rayner, F. A., 1980. Pumping test analysis with a handhold calculator. Ground Water. v18, no. 6, pp 652-668.
11. Sen, Z. 1986. Determination of aquifer parameters by the slope-matching method, Ground Water. v24., no. 2, pp 217-223.
12. Todd, D. K. 1980. Groundwater hydraulics. second edition. John Wiley & Sons. New York. pp 125-129.
13. Yeh, H. D. 1988. Theis' solution by nonlinear least-squares and finite-difference newton's method. Ground Water. v25. no. 6, pp 710-715.
14. Yevjevich, V. 1972. Probability and statistics in hydrology. pp 83-181.

收稿日期：民國79年4月21日

接受日期：民國79年5月4日

專營土木、水利、建築等工程

負責人：陳塗城
 地址：雲林縣四湖鄉三姓村1號
 電話：(05) 3872642



信華機械工業股份有限公司

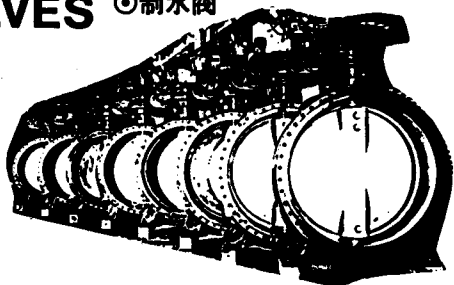
SHINN HWA VALVES

◎蝶型閥 日本栗本株式會社
 ◎舌閥 技術合作
 ◎制水閥



公司：台北市健康路15巷5號
 TEL：(02)7136262(6線)
 FAX：886-2-7155733
 TELEX：24147 S.H. MASTER

工廠：台北縣三重市光復路1段29號
 TEL：(02)9958144(3線)



加速國家建設

厚植建國力量