

流通係數空間變異模式之研究 ——雲林北港溪兩岸之變異探討

The Study of Spatial Variability of Transmissivity—The Variance Analysis Along Peikang River in Yun - Lin Area

國立台灣大學農業工程研究所碩士

李 繼 尊

Ji-Tsun Lee

國立台灣大學農業工程研究所教授

譚 義 績

Yin-Chi Tan

摘 要

本研究之主要目標係針對地理學家以地形學分析北港溪兩岸之形成方式迥然不同，而擬利用區域化變數理論來證明之，主要方法是利用北港溪東岸58口及西岸43口深水井之流通係數資料，作為研究分析與建立空間變異模式之樣本，除了一般統計量的計算之外，並以地質統計方法及相關之分析軟體計算試驗變異元，並配合美國環保署地質統計模式GEO-EAS，進行理論變異元模式之套配，建立多個不同方向之半變異圖，探討可能發生於其間之異向型態，希望能夠發現各區間之最大變異方向不同之處，藉此研判其地形形成方式不同之佐證方法之一。

分析結果顯示在北港溪西岸之沖積層，約在北偏東42度方向有最小變異性，約在北偏西48度方向有最大變異性；在北港溪東岸之堆積層，約在北偏西60度方向有最小變異性，約在北偏東30度方向有最大變異性，證明兩岸有不同之空間變異結構型態，亦即兩岸之地形形成方式不同。

關鍵詞：流通係數、克利金法、區域化變數理論、變異元、碎塊效應。

ABSTRACT

Geographer analyzed the topographic difference between the west side and the east side along Peikang River, based on the theory of regionalized variables the method of Kriging is developed for attesting the difference that is the purpose of this research. That 58 transmissivity values of aquifer are obtained from the east side and 43 transmissivity values are obtained from the west side along peikang River in Yun-lin, are applied as a case study of the structure of spatial variation in this research. A geostatistic program to analyze the experimental data with the theoretical variogram for generating the variogram model of directions, to adjudge the maximum variation of blocks and find one method for topography.

The result of analysis illustrated the minimum variation along the N42°E

direction and the maximum variation along the N 48°W direction within the alluvium of west side of Peikang River. The minimum variation along the N60°W direction and the maximum variation along the N30°E direction within the deposits of east side of Peikang River. There are different structure of spatial variation between the alluvium of west side and the deposits of east side along Peikang River.

Keywords: Transmissivity, Kriging, Theory of regional variable, Variogram, Nugget effect.

一、前言

雲林地區為本省重要之農業生產，土地肥沃，人口稠密。然而其土地生產能力受到地表灌溉水源不足及在該地區未興建水庫之限制，以致於農業生產無法發揮潛力。雖然該區之地下水源豐沛，但是在農業耕地附近卻常有作業廠房分佈，產生之廢水不但污染地表灌溉水源，且經由各種途徑滲漏到地下含水層中，鑑於地下水流動及污染傳輸與含水層之水文地質參數息息相關，在不同的水文地質情況下，地下水流動的方向、速度及分佈的位置、範圍大小等情況也就有所不同，因此不論是由環保或是地下水資源開發運用的觀點而言，對於該區不同的水文地質參數分佈情況，必須有充份的了解，才能在規劃管理上，提供確實有效的途徑。

由於自然界中水文地質環境形成之機制非常複雜，使得對含水層變化情況之了解極為不易，描述地下水層變化之水文地質參數，若以鑿井鑽探或地電阻探測等方式採樣，往往受到經費、技術等各項因素限制，常只能在某些特定位置取得，因而常有取樣點不足或分佈不均的情況發生，以致於對整個區域之參數分佈型態無法充分了解，造成規劃管理時困擾。且在河流沉積地形，含水層之水文地質參數常常受到水文地質環境形成時之影響，而有異向性之現象發生，更使得對水文地質參數分佈情況之瞭解增加了複雜性。針對上述對於實際水文地質參數分佈型態了解不易的各項情況，本文擬以地質統計方式描述水文地質參數分佈型態，以期彌補地層鑽探之不足，同時提供以數理方式作為研判不同水文地質型態的途徑。

在雲林縣北港溪東西兩岸之地質形成過程不盡相同，西岸屬於濁水溪沖積層，東岸屬於落石堆性質之堆積層，因此，其水文地質參數之分佈型態將有差異，亦即有不同之空間變異結構；本文以北港溪西岸43口觀測井及東岸58口觀測井之流通係為區域化變數，說明如何以地質統計方法進行分析及建立適用之空間變異結構模式，同時作為證明其形成方式不同佐證。

二、文獻回顧

地質統計原理最早於1960年代由法國G. Matheron建立，並於1971年命名為「克利金」(Kriging)。此法之數學基礎為「區域化變數理論」(Theory of Regionalized Variable)，將代表自然現象之參數視為區域化變數(簡稱Re. V)，以數學方式描述此參數於空間之特定結構，並建立於不同位置間之變異函數作為推估之依據，其運算法則是「估計最佳化與誤差計量」，具有線性無偏估最小估計變異數之特性，可稱為最佳線性無偏估之估計(Best Linear Unbiased Estimate, 簡稱BLUE)。

克利金法之應用，最早是應用於南非採礦工程之礦量評估上(A. G. Journel and Ch. J. Huijbregts, 1978; Delhomme, 1979)，傳統礦量評估法在處理取樣點參數值以推測礦床之參數特性時，假設取樣是隨機(random)而彼此不相依(independent)，地質統計則視取樣點之礦床參數值在空間的分佈上有相關性(或變異性)，在區域化變數理論中常以變異元(Variogram)作為此相關性或變異性之量化表示式；事實上，所有用以描述地下水及水文氣候之變數皆可視為Re. V(Delhomme, 1978)，所以自此理論發展以來，已有許多學者投注於這項理論

之應用。

綜觀上述前人之研究，克利金推估法之核心在於空間變異模式之建立，在地下水文中，若有不同之水文地質情況，則變異元之特性（影響範圍、碎塊效應、臨界相關值）亦有所不同，根據這項特性可應用於水文地質之判定，然而相關之文獻不多，本文研究之目標亦期望能為有志於這項理論應用之學者，提供另一個思考方向。

三、區域化變數變異模式之建立

當一種現象在空間的分佈，存在著一明顯的空間結構(Spatial Structure)，亦即能以特定的統計空間結構表示者，稱之為區域化(Regionalized)；若定義 $f(x)$ 為這種現象中的一個特性在空間 x 點上的值，則 $f(x)$ 稱為一個區域化變數 (Regionalized Variable; 簡稱為Re.V) (例如：降雨深度、地下水位、土壤溫度、流通係數……)。

區域化變數於不同位置之間可能有某種程度的相關性，距離愈近，此相關性愈大，在地質統計學上便以變異元(Variogram)作為此相關性的量化表示式。

3-1. 變異元及理論模式

變異元是描述區域化變數不同位置間相關性之量化表示式，是克利金法之核心；在建立克利金推估系統求取未知最佳推估值之前，必須先建立變異元模式，作為賦予未知點周圍觀測點推估權重之依據，因此，變異元模式建立之優劣，影響克利金法估計結果之良莠甚鉅。一般而言，理論變異元模式是未知的，故需由觀測資料加以率定，亦即先由觀測資料求得試驗變異元(Experimental Variogram)，再以理論變異元模式加以套配(Fit)，以求得變異元之模式係數（影響範圍、臨界相關值、碎塊效應值）。因為不同之水文地質情況，其變異元模式也就不同，所以根據變異元模式即可判定是否屬於相同之水文地質。

(一) 變異元之特性

1. 連續性(Continuity)

在理論上，變異元 $\gamma(h)$ 與相對距離 h 之關係在相對距離為零時變異元亦為零；在 h 值增量很小時，若對應之 $\gamma(h)$ 差異亦很小，即表示相

鄰之取樣參數相似性高，連續性好。

2. 碎塊效應(Nugget Effect)

若 $\gamma(h)$ 和 h 之關係在 h 為零，相對應之 $\gamma(h)$ 不為零而為一常數，產生和原點不連續之現象，稱為碎塊效應。其產生原因通常是由於量測誤差或是實測值在很小距離內產生很大之變化（即地質在短距離內有特殊之成份存在）。

3. 影響範圍(Range)

在理論上，兩觀測點之變數，其相關性會隨著兩點間距離之增加而減少，亦即 $\gamma(h)$ 隨著 h 增加，當距離增加到某種程度時， $\gamma(h)$ 就趨於平緩不再增加，開始趨於平緩之 $\gamma(h)$ 所對應之距離 h ，稱為影響範圍。

4. 臨界相關值(Sill)

在變異圖上， $\gamma(h)$ 趨於平緩不再增加時的值稱為臨界相關值。

(二) 試驗變異元之計算

計算步驟（定常性區域化變數）：

1. 將兩觀測點間之距離區分等級(Class)
2. 計算各等級間距(Lag increment)範圍內之配對數，其計算式為 $N=n(n-1)/2N$ 為配對數， n 為觀測點數。
3. 計算各等級間距範圍內之平均距離。
4. 計算各等級間距範圍內不同兩點間之平均平方差異值

$$[Z(x+h) - Z(x)]^2/2$$
5. 以3.之結果為橫座標，4.之結果為縱座標，繪成變異元圖。

距離等級	各等級間距內之配對數	各等級間距內之平均距離	平均平方差異值
d_1	n_1	\bar{d}_1	\bar{r}_1
d_2	n_2	\bar{d}_2	\bar{r}_2
d_3	n_3	\bar{d}_3	\bar{r}_3
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots
d_n	n_n	\bar{d}_n	\bar{r}_n

其中 $\bar{d}_i = \sum_{j=1}^{n_i} \frac{d_{ij}}{n_i}$

d_{ij} ：在第 i 等級內之第 j 個配對數之距離

$$\bar{r}_i = \sum_{j=1}^{n_i} \frac{1}{n_i} \left\{ \frac{1}{2} [z(x+h) - z(x)]^2_{ij} \right\}$$

$[z(x+h) - z(x)]_{ij}$ 第*i*等級內之第*j*個配對數之兩觀測點差異值

(二)理論變異元之模式

由於試驗變異元通常無法滿足正定(positive definite)之情況，所以理論變異元模式是必須的。所謂的正定變異元模式有一個重要特性：「任何正定變異元模式之線性組合，其係數均為正」。符合正定情況之基本變異元模式如下：

1. 次冪型模式(Power-type model or model in h^λ)
2. 球體模式(Spherical model)
3. 指數模式(Exponential model)
4. 高斯模式(Gaussian model)

除上述基本模式外，尚可組合成混合模式加以應用。一般在水文地質上常採用者主要為球體模式及指數模式，但仍需視實際情況決定之。

3-3.空間變異結構之異向性分析

若區域化變數(Re.V)在空間中之變異性僅隨著距離改變與方向無關時，則此時之變異元稱為全方向變異元(Omni-directional Variogram)則 $r(h)$ 僅為距離之函數。當在不同距離之變異性亦會隨著方向的改變而改變時則稱為異向性(Anisotropic)。若考慮空間變異結構可能具有異向性，欲針對某特定方向求取試驗變異元時，常受到觀測點分佈位置之影響，以致於在特定方向上配對數不足，無法得到完整的變異結構，經驗上的作法是選定一容許角度(Tolerance Angle)，而後於特定方向上加減此容許角度，並於此範圍內，按照試驗變異元之計算程序求得代表該特定方向之試驗變異元，並以理論變異元加以套配，以獲得該等定方向之試驗變異元，並以理論變異元加以套配，以獲得該特定方向之變異元模式。當求得多個不同方向之變異元模式後，加以比較，若圖形趨於一致（即碎塊效應值、影響範圍、臨界相關值一致），則無異向性現象存在，亦即等向性假設成立；反之，若在各方向之變異圖有明顯差異時，則表示有異向性的存在。

(一)容忍角之選擇

對於容忍角之選擇，容忍角愈小，則在方位

角 θ 之變異元就愈具精確性，但是容忍角太小包含之配對數太少時，分析之成果往往呈現很不穩定之現象，最好的方法是嘗試不同大小之容忍角，選擇其中能夠使成果呈現穩定之最小容忍角。

(二)距離參數之選擇

在建立變異模式時，有兩個距離參數必須決定，即分級間距(Lag increment)和容忍間距(Lag tolerance)，假如取樣點分佈均勻規則，則取樣點間之距離即為最適當之分級間距，若取樣點之分佈是隨機的(random)，則以推估點周圍取樣點間的距離平均值為初始之分級間距。對於容忍間距之決定，一般是以分級間距之半為容忍間距，在取樣點分佈均勻規則的情況下，容忍間距必須小於分級間距之半。

(三)異向性主軸之決定

決定步驟：

1. 建立多個不同方向之變異元。
2. 選定一變異元之值，再由各方向之變異元中求得對應此特定變異元值之距離。
3. 根據 2. 所求得之距離，繪成玫瑰圖(Rose Diagram)。

若區域化變數(Re.V)具有異向性時，玫瑰圖呈現橢圓形，其長軸方向表示最大連續性之方向，短軸方向表示最小連續性之方向。當有不同之變異元（即不同之地質型態）時，其玫瑰圖之長短軸大小及方向均不同。

四、研究區域概況

4-1. 研究區域範圍

本文研究區域位於雲林縣東南方，涵蓋北港溪中上游東西兩岸及其支流大湖口溪與華興溪沿岸，包括虎尾、土庫、元長、斗南、大埤、大林、古坑等鄉鎮，將此區域劃分成A、B、C三區塊，A區塊屬於北港溪西岸，B區塊為北港溪東岸局部地區，C區塊為北港溪東岸大湖口溪及華興溪沿岸，如圖1及圖2所示。井位分佈如圖3至圖5所示。

4-2. 水文氣候

本區靠近北迴歸線，屬於亞熱帶氣候，由於

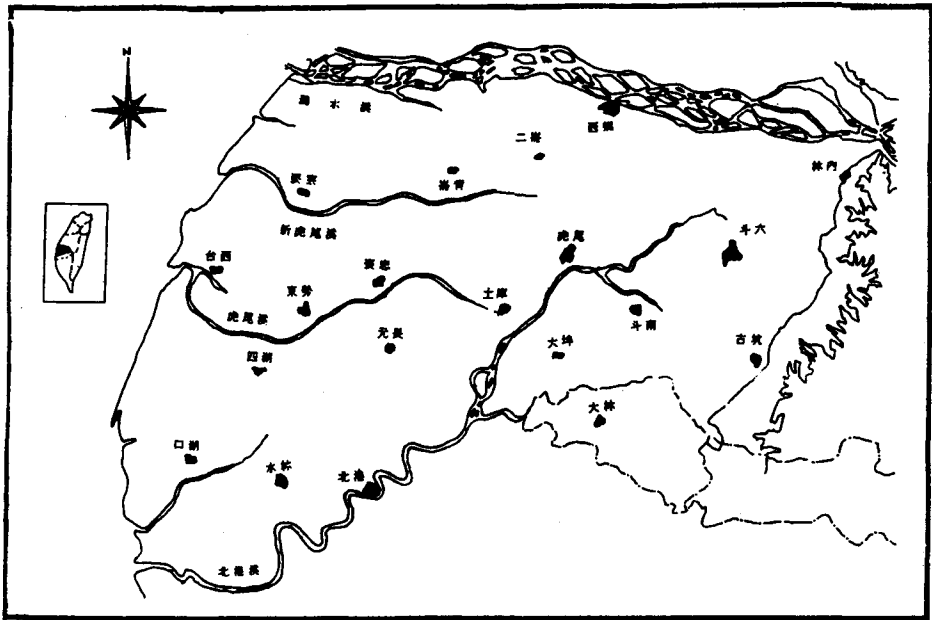


圖 1. 雲林地區位置圖(農工中心)

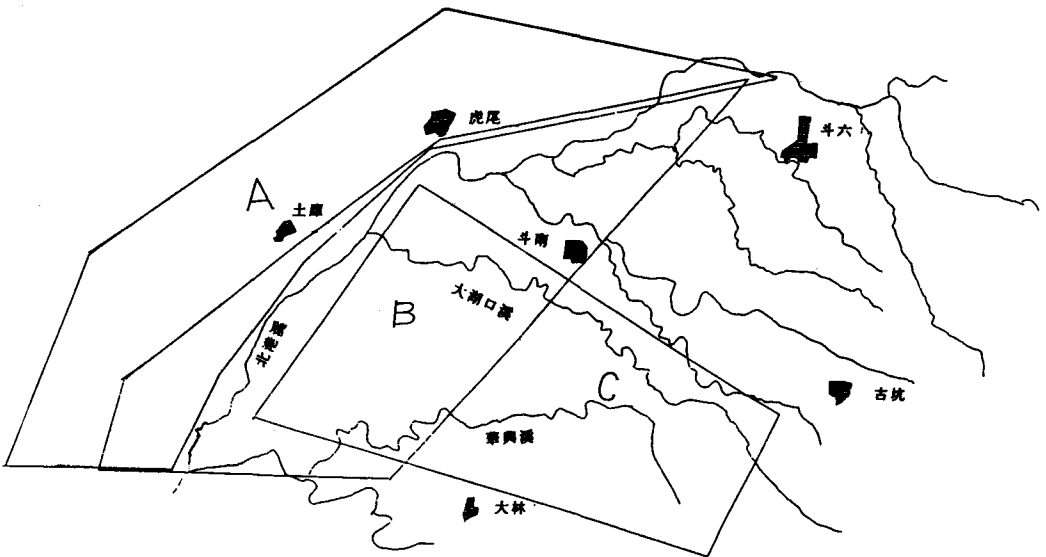


圖 2. 研究區域圖

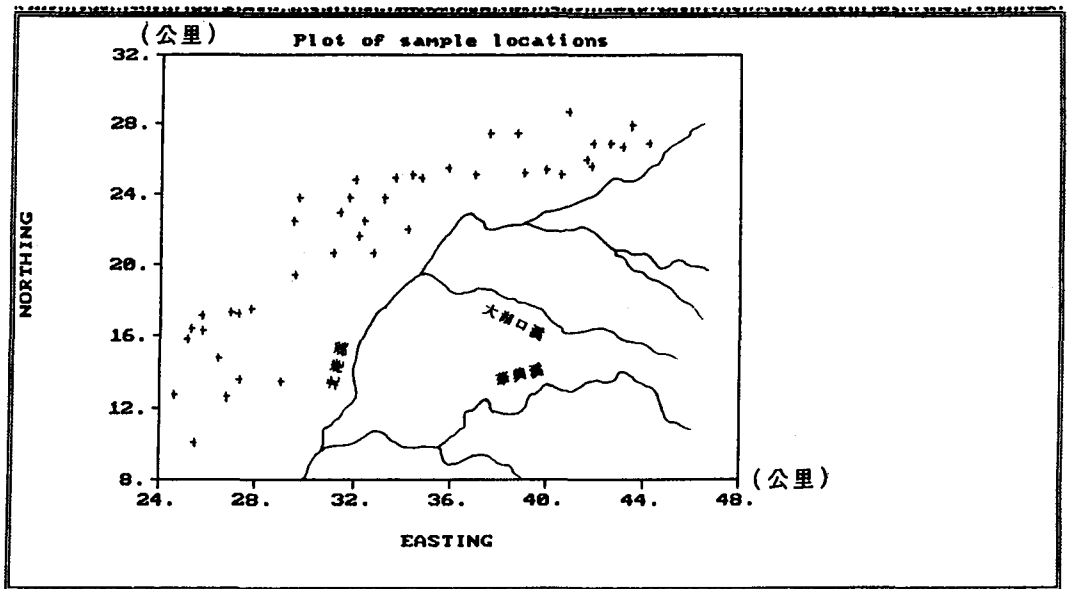


圖 3. 北港溪西岸井位分佈圖

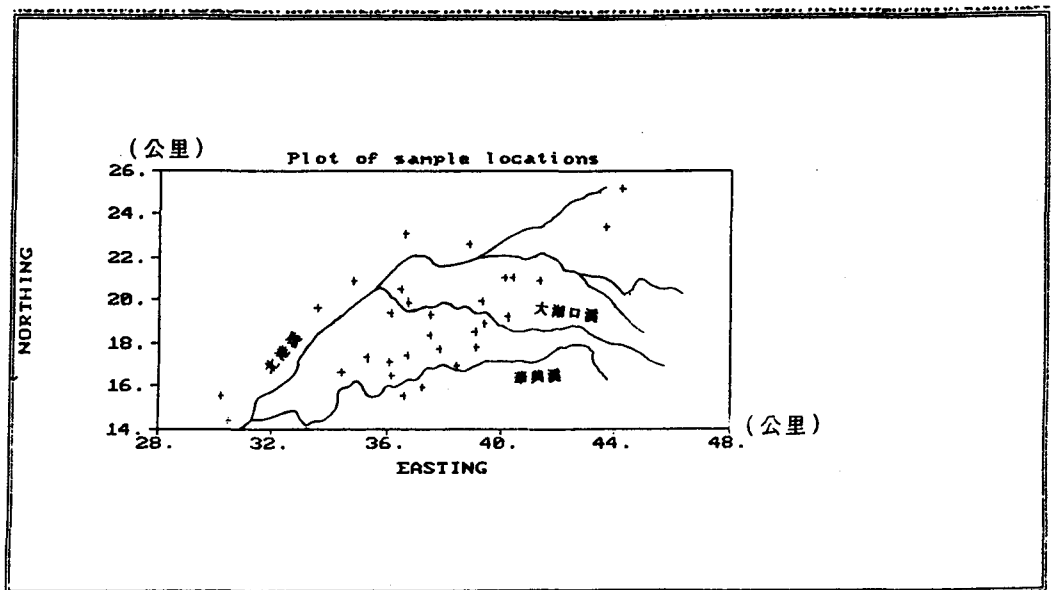


圖 4. 北港溪東岸(局部地區)井位分佈圖

中央氣象局未在濁水溪平原設置長期的氣候觀測站，因此由臺中和嘉義兩觀測站，利用長期氣候資料分析，年平均降水量約為2016公厘，月平均降水量主要分佈在梅雨期及西南季風和颱風盛行的五月至九月之間，以十一月和十二月的平均雨量最少，全年平均溫度23°C，以七月至九月最熱，十二月至翌年二月氣溫較低，年平均蒸發量為1300公厘。

4-3. 地形、地質

根據（楊萬全，1989）「濁水溪平原地下水域水質地質之分析研究」，本區在北港溪東岸的部份屬於北港溪源流區，在北港溪源流區有十餘條順向河，匯集斗六丘陵西側的水源流注北港溪，源流將斗六丘陵上六雙層、臺地堆積層經雨水冲刷下來的物質，挾帶堆積於北港溪以東之臺南層上，為落石堆性質的堆基層，與濁水溪無關。其中六雙層主要為泥岩及頁岩之互層，故堆積物多泥質，儘管也出現了礫石層，卻多為礫石含土或泥質地層夾雜礫石之狀況，故透水性差，在北港溪西岸的部份屬於濁水溪沖積扇區，東側礫石層較厚向西和向西南遞減，相對地泥質和砂質地層厚度增加，是相當典型的沖積扇地層結構。

4-4. 鑿井深度及含水層厚度

在北港溪東岸的北港溪源流區，根據農工中心之調查報告（曹以松等，1982）指出，在鑿井深度及含水層厚度上，本區皆屬深井，鑿井深度以大埤鄉最深，平均為199.7公尺，大林鎮次之，平均深度為179.3公尺，斗南與古坑分別為176.5及106.5，在鑿井深度範圍內含水層之平均厚度大致30.6至52.8公尺之間。在北港溪西岸的濁水溪沖積扇部份，含水層厚度在虎尾一帶為80公尺，土庫、元長一帶平均為100公尺左右。

五、流通係數變異模式之分析

本文以流通係數為探討分析之區域化變數，利用單井抽水試驗所獲致之101組流通係數資料，作為研究分析與建立空間變異模式之樣本。在分析步驟上，除了一般統計量計算之外，並以相關之分析軟體計算試驗變異元，同時配合美國環保

署地質統計模式GEO-EAS，進行理論變異元模式之套配，鑑於流通係數在河流沉積地形，常受含水層形成時水文地質環境影響而常有異向性現象發生，因此建立多個不同方向之變異元，探討可能發生於其間之異向型態，希望能夠發現各區間之最大變異方向不同之處，藉此作為研判不同地形形成方式之依據。

5-1. 基本統計分析

根據Freeze於1975年發表的研究報告，證明流通係數在空間中之分佈形式具有對數常態分佈之特性，因此，將101組流通係數取對數後，作初期之統計分析。

統計分析資料顯示之最大值，在北港溪西岸為6.379平方公尺/小時，在東岸為5.738平方公尺/小時及5.429平方公尺/小時；最小值在西岸為3.287平方公尺/小時，在東岸為2.191平方公尺/小時及2.995平方公尺/小時，機率密度直方圖（圖6至圖7）則呈現出對數常態分佈之趨勢，另外針對機率密度直方圖進行卡方適合度檢定(Chi-Square goodness of fit test)，其卡方值均較在5%之顯著水準下查表所得之值為小，故可認定為對數常態分佈；同時由初步之統計資料，在東岸兩區塊之統計量趨於一致，與西岸之統計量比較，雖有差異，但是差異並不大，由此可大膽假設流通係數屬於定常性之區域化變數。

5-2. 全方位試驗變異元結構分析

由於流通係數是屬於定常性之區域化變數，故在空間中之分佈通常無明顯的趨勢存在。在分析步驟上，首先求取全方位經驗變異元作為初期變異結構與理論模式套配研判之用，其著眼點係基於包納了所有配對觀測點，除可獲得一較為平均的結果外，亦能由圖形中研判變數是否符合定常性假設。由圖9至圖11可看出變異結構呈現由左往右遞增的趨勢，然而有部份資料點呈現上下震盪之現象，理論上變異元由0遞增到0.46654及0.83504、0.30967時，必須趨於平緩的趨勢，造成這種現象的原因，可能是取的樣本數太少，以致於配對數較少之間距範圍內易由局部變化較劇之樣本主導，產生較高之不確定性，或是有異向性之存在，有待後續之驗證。其中圖11顯示當距離

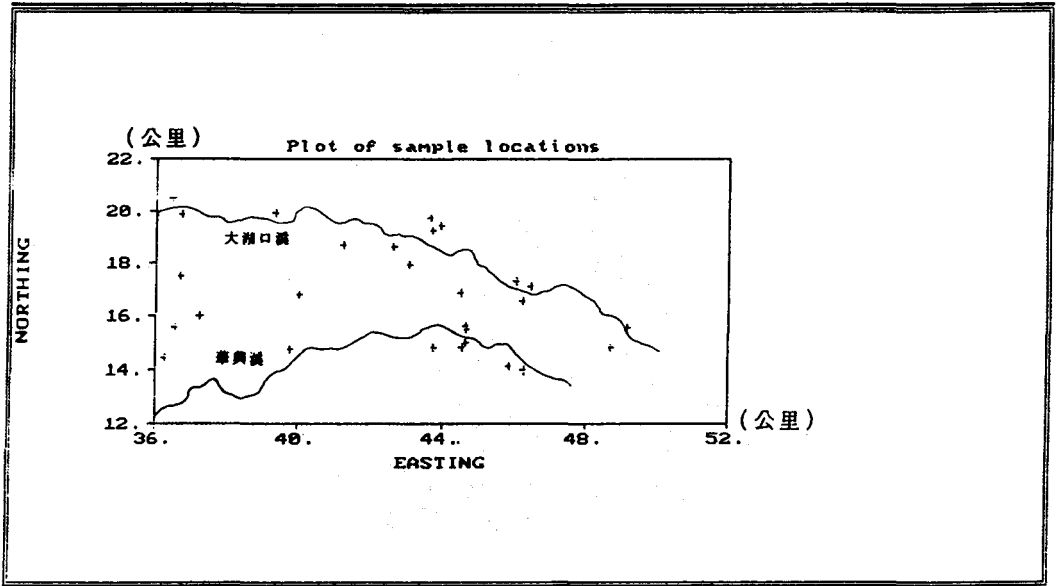


圖 5. 北港溪東岸(大湖口溪及華興溪沿岸)井位分佈圖

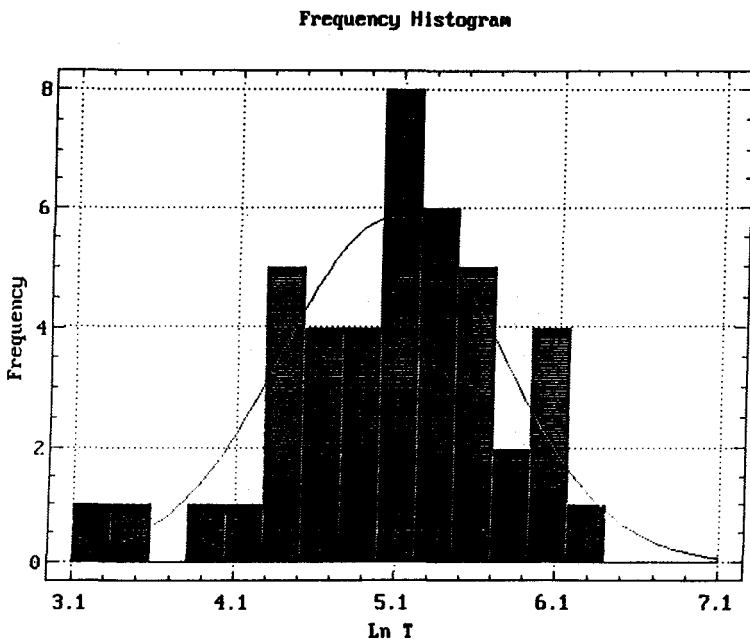


圖 6. 北港溪西岸對數型態流通係數機率密度直方圖

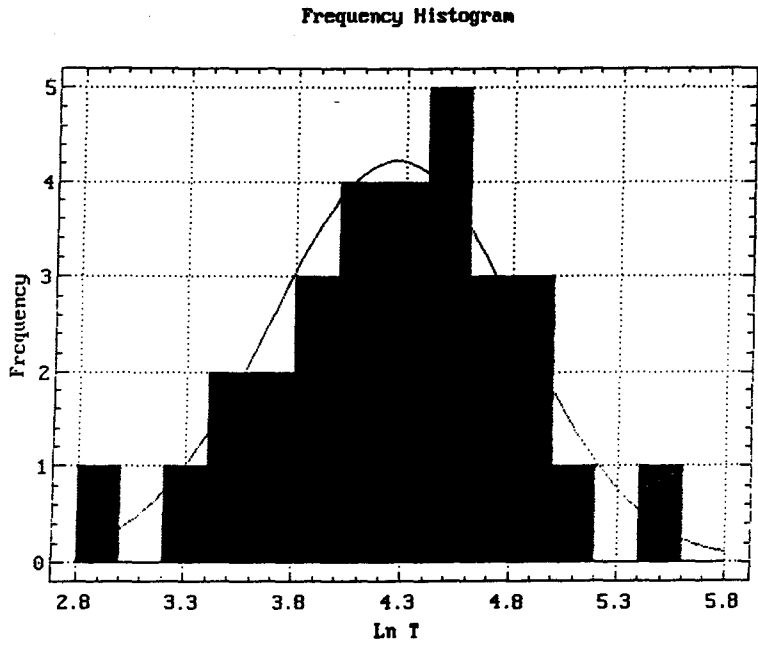


圖 7. 北港溪東岸(局部地區)對數型態流通係數機率密度直方圖

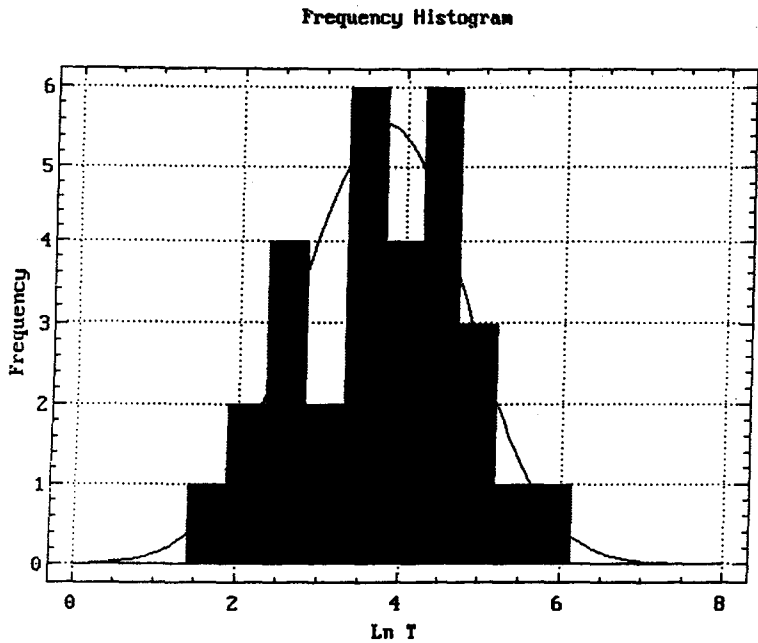


圖 8. 北港溪東岸(大湖口溪及華興溪沿岸)對數型態流通係數機率密度直方圖

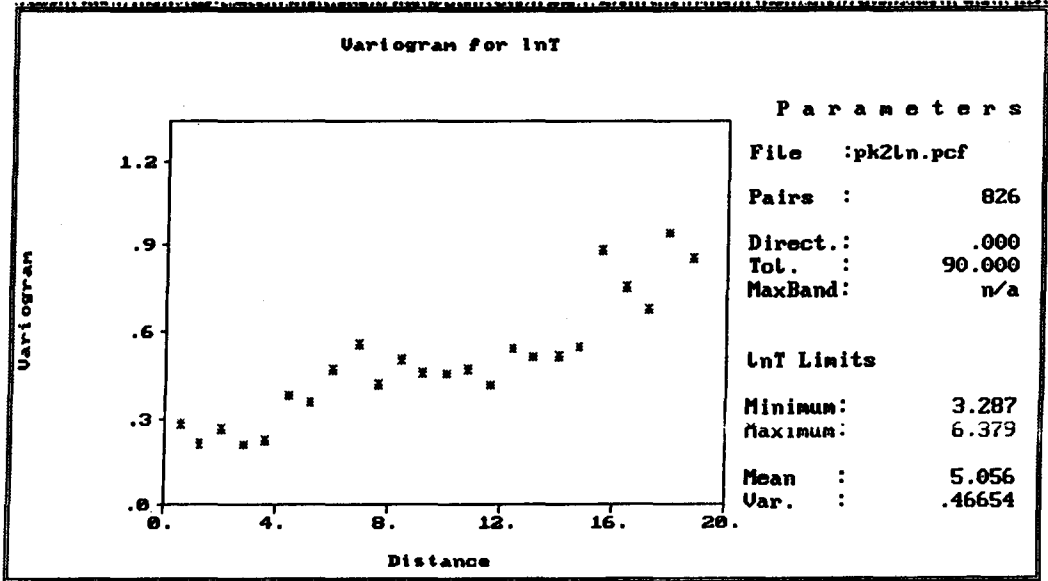


圖 9. 北港溪西岸全方位試驗變異元圖

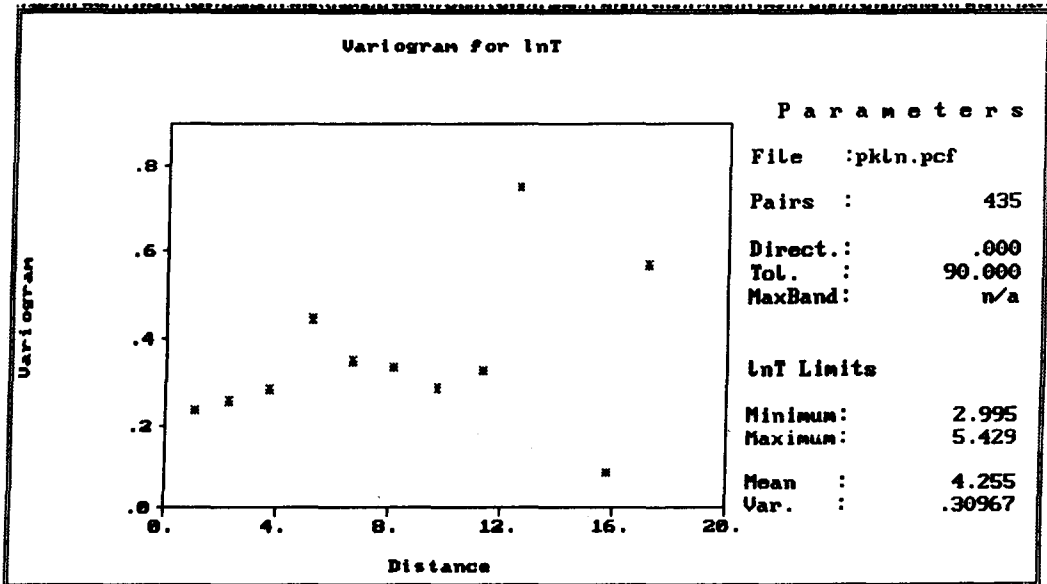


圖 10. 北港溪東岸(局部地區)全方位試驗變異元圖

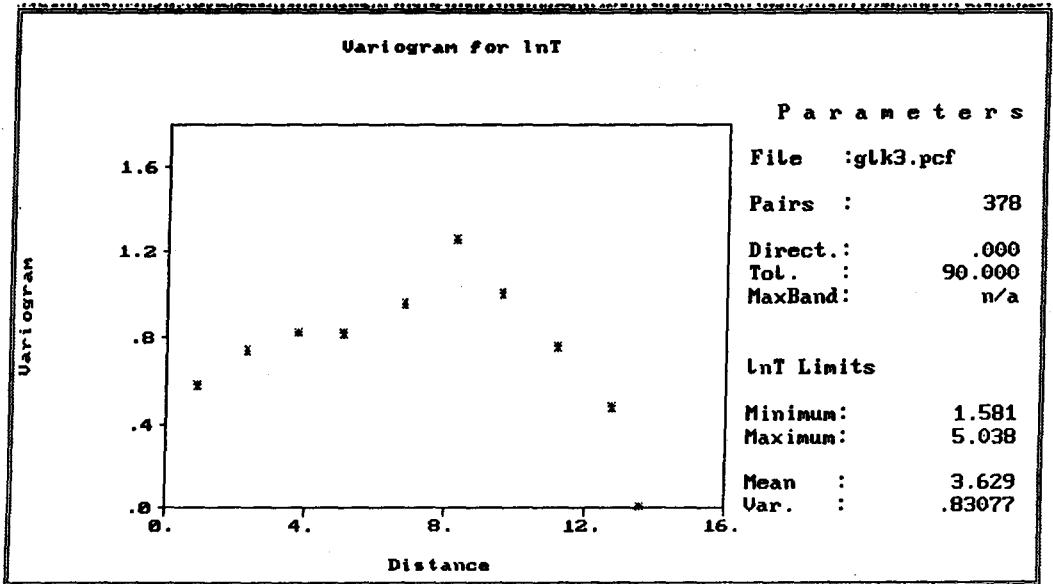


圖 11. 北港溪東岸(大湖口溪及華興溪沿岸)全方位試驗變異元圖

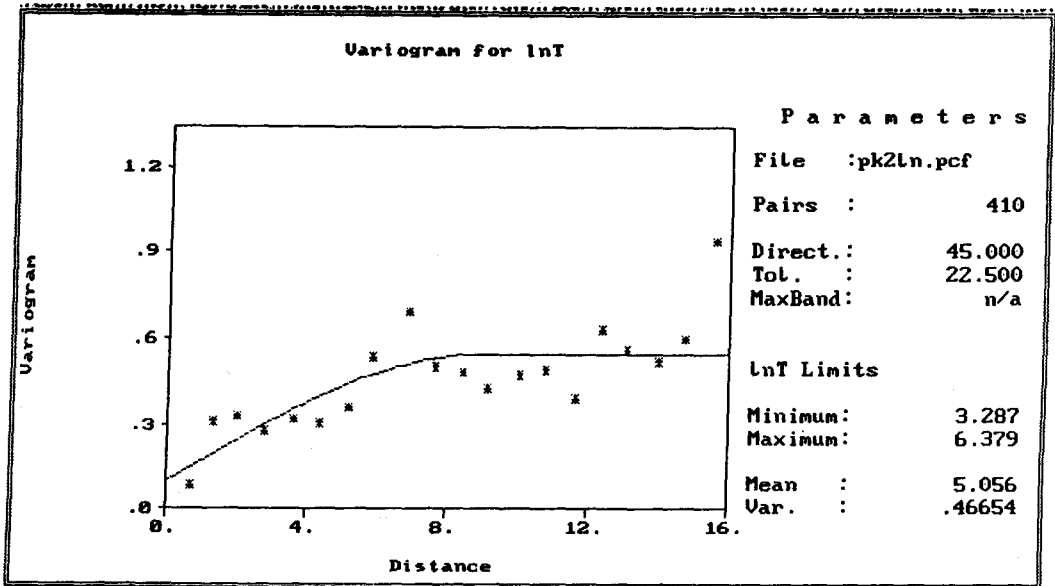


圖 12. 北港溪西岸偏東45度方向試驗變異元及理論套配模式

增加之時反而變異元振盪之奇特現象，經查數據發現除樣本很少且數值接近所致。

5-3.異向性分析

為檢驗對數型態流通係數在空間之變異情形是否具有異向性，本文針對研究區域內三個不同區塊水井之流通係數，建立多個不同方向之變異模式加以研判；首先選取正東向、北偏東60度、北偏東45度、北偏東30度、正北向、北偏西30度、北偏西45度、北偏西60度、北偏西75度九個方向為分析的方向，然後根據定常性區域化變數變異元計算公式，寫成FORTRAN程式以計算試驗變異元，並以美國環保署地質統計模式GEO-EAS繪成變異元圖及進行理論模式套配，在測試過程中嚐試以不同容忍角11.25度及22.5度及45度檢驗，理論上，容忍角愈小在某特定方向建立的模式精確性就較高，然而，檢驗過程中，在三個區塊各不同方向變異模式的容忍角取11.25度時，由於包涵的觀測配對數太少，以致於無法得到較穩定的結構，因此容忍角改取22.5度及45度，在北港溪東岸局部地區容忍角45度時，有較穩定的結構，而在北港溪東岸大湖口溪及華興溪沿岸及北港溪西岸則在容忍角22.5度時，其結構較穩定。

關於理論模式的套配，一般是依據試驗變異元圖的形狀決定以何種模式套配，然而試驗變異元圖的形狀卻常因不確定性的存在而產生振盪的現象，這種振盪現象可能是因為配對數太少以致於分析結果由變化較劇的樣本主導，使得試驗變異元圖的形狀無明顯的結構而無法判斷以何種模式套配，因此，本文依據在地下水領域中較常用球體模式套配的原則，以球體模式作為各方向試驗變異元的套配模式。

六、結果與討論

首先檢驗北港溪西岸流通係數異向性分析的結果，比較九個不同方向之變異模式，其中以北偏東45度變異模式有最大之影響範圍9公里，是為變異性最小之方向，亦即連續性最佳之方向，與其相對應之臨界相關值為0.46（如圖12所示），在北偏西45度之變異模式有最小之影響範圍2公里，其相對應之臨界相關值為0.18，是為變異性

最大連續性最差之方向（如圖13所示），同時由分析結果顯示，在北偏東45度和正北的方向有相同的臨界相關值，卻有不同的影響範圍，這是幾何異向性的特性；然而在北偏東60度和正北N的方向及在北偏西30度和北偏西60度的方向，有相同的影響範圍卻有不同的臨界相關值，這是層異向性的特質，由此證明流通係數在自然界之分佈，是屬於幾何異向性和層異向性混合之型態。

同理，檢驗北港溪東岸之流通係數，在東岸局部地區的部份，北偏西30度是最小變異的方向，其影響範圍是7.5公里（如圖14所示），北偏東60度是最大變異性的方向，影響範圍是1.5公里（如圖15所示），在大湖口溪及華興溪的部份，以北偏西60度為最小變異性的方向，其影響範圍為10公里（如圖16所示），北偏東30度為最大變異性的方向，其影響範圍為2公里（如圖17所示）。同樣由臨界相關值和影響範圍，亦能發現幾何異向性和層異向性混和存在的現象。

將北港溪東西兩岸不同區塊內的流通係數，建立不同方向的變異元模式後，在各區塊內選定一變異元值，再求出各方向對應此特定值的距離的，繪成玫瑰圖（圖18至20）。比較三區塊之玫瑰圖，可明顯地發現區塊A玫瑰圖的長軸方向和區塊B、C有很大的差別，同時由分析之碎塊效應值，顯示出區塊A和區塊B、C亦有顯著的差異，因此，由上述各項分析，可判定北港溪東西兩岸之流通係數是來自不同的地質。

河川搬運物質之方式主要為溶蝕、懸浮、推移三種，其中溶蝕物質大多隨河水流注海洋，其餘物質在搬運過程中，因河川流速受到坡度、水深變化的影響，使得大顆粒物質較快沉積 (Deposit)，較小顆粒則被搬運至較遠處。因為濁水溪流經二水鐵橋後進入平原，坡度大減，溪水流速減緩，大顆粒之礫石大量堆積，阻滯了原有河水之流向，造成溪水易於改道，造成其沖積平原由丘陵往海邊呈扇型擴散之現象；在本文研究區域中北港溪西岸的部份，其沖積方向成西岸走向，即礫石粒徑的大小，往西南遞減。在此區域流通係數之分佈情形，經過異向性分析，顯示有異向現象；理論上，流通係數為含水層厚度與水

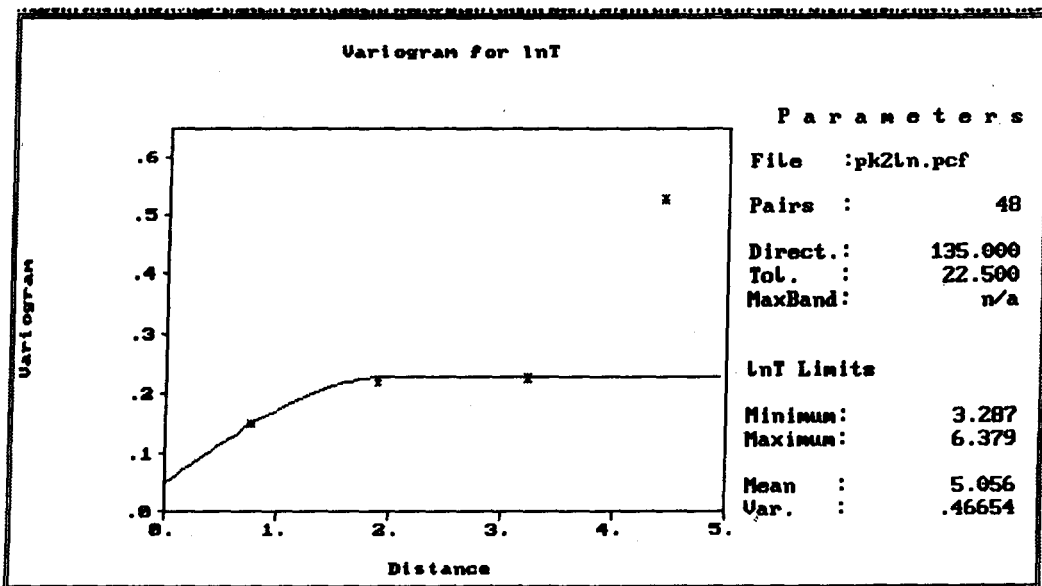


圖 13. 北港溪西岸偏西45度方向試驗變異元及理論套配模式

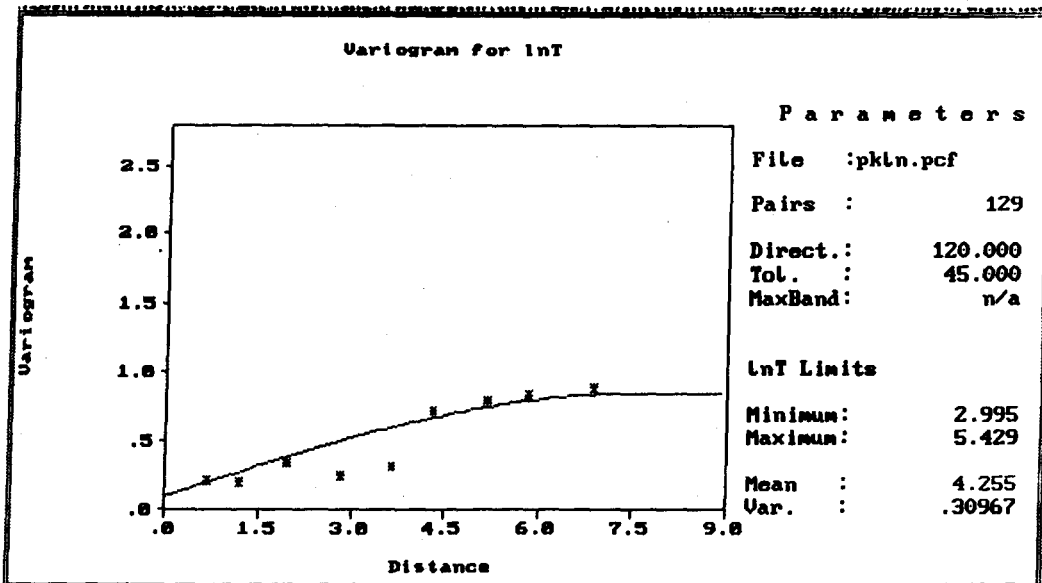


圖 14. 北港溪西岸(局部地區)北偏西30度方向試驗變異元及理論套配模式

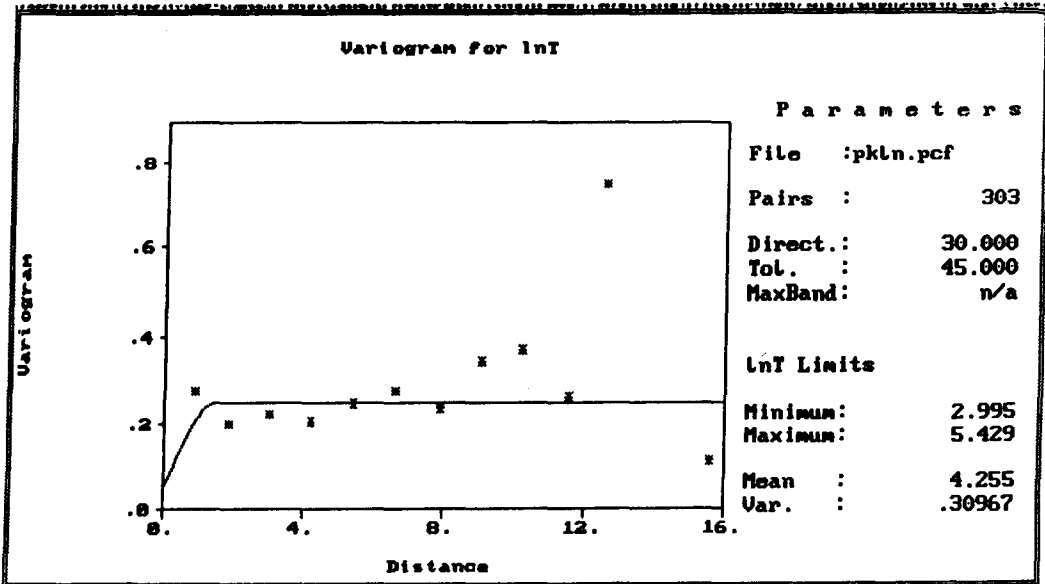


圖 15. 北港溪東岸(局部地區)北偏東60度方向試驗變異元及理論套配模式

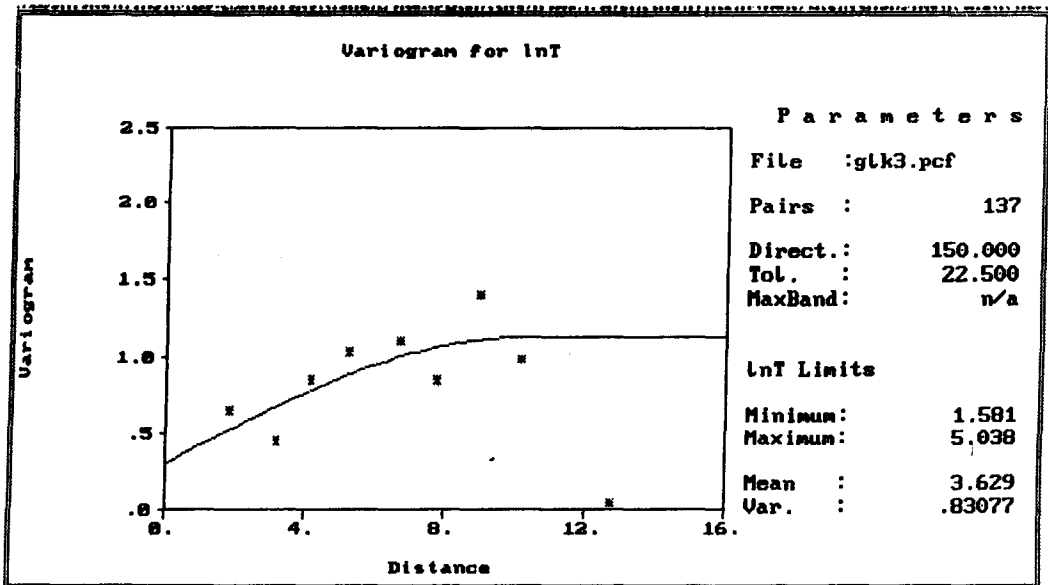


圖 16. 北港溪東岸(大湖口溪及華興溪沿岸)北偏西60度方向試驗變異元及理論套配模式

力傳導係數(Hydraulic Conductivity)之乘積，因此，含水層厚度及影響水力傳導係數之因子，如水之單位重、黏滯係數、土壤粒徑、孔隙比、土粒排列方式等，均會影響流通係數之變化，假設水之單位重、黏滯係數為定值，則實際探討流通係數變化之問題時，此兩項予以忽略；根據（楊萬全，1989）「濁水溪平原地下水域水文地質之

分析研究」，本文研究區域中北港溪西岸之沖積扇部份，礫石層厚度及粒徑均由東北向西南遞減。基於上述各項影響流通係數之因子，此區域之流通係數亦應沿此方向變化，由異向性分析之結果，最小變異性之方向在北偏東45度方向，亦即流通係數在北偏東45度方向變化較緩和，正交此方向（北偏西45度）有最大變異性，證明沿此

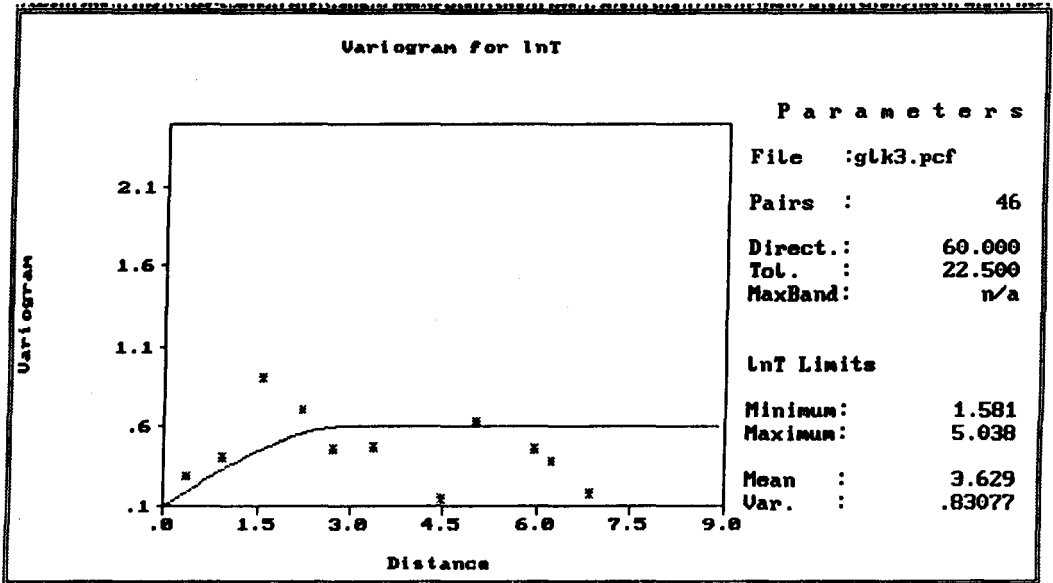


圖 17.北港溪東岸(大湖口溪及華興溪沿岸)北偏東30度方向試驗變異元及理論套配模式

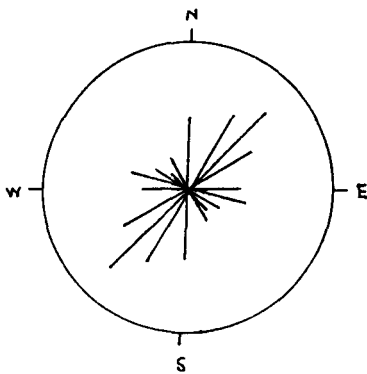


圖 18. 北港溪西岸異向性分析玫瑰圖

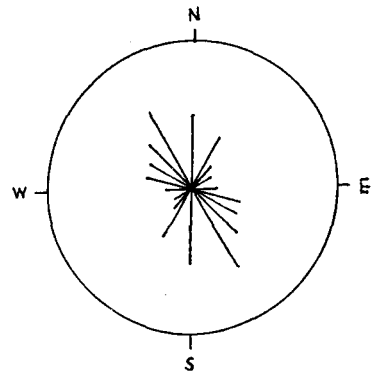


圖 19. 北港溪東岸(局部地區)異向性分析玫瑰圖

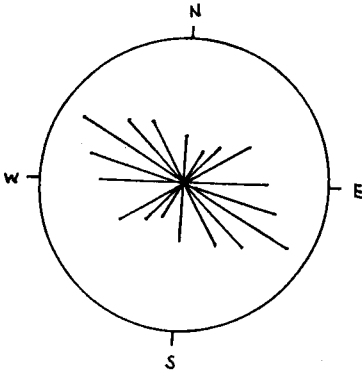


圖 20. 北港溪東岸(大湖口溪及華興溪沿岸)
異向性分析玫瑰圖

方向之流通係數變化頗為複雜，吻合地質情況變化，亦即異向性方向和地質環境形成過程息息相關。

在本文研究區域中，北港溪東岸屬於北港溪源流區的部份，其地下水層為落石堆性質的堆積層，其形成原因是由斗六丘陵西側呈西北西走向之十餘條順向河，將斗六丘陵上經雨水冲刷下來之物質，沿著水流方向堆積於北港溪東岸，因此，此區域流通係數之變化，勢必會大致沿著此一方向；在本文中將源流區區分成B、C兩區塊，將兩區塊之流通係數資料，個別加以分析，其目的除了期望能夠顯現局部之變異性外，亦期望由兩區塊分析結果證明北港溪源流區流通係數之分佈，有相同之統計特性。由分析結果所顯示之統計量，區塊B和C有相近的統計量，同時由異向性分析顯示，北港溪東岸局部區在北偏西30度有最小變異性，而大湖口溪及華興沿岸在北偏西60度有最小變異性，此兩最小變異之方向，和順向河頗為一致，由此可證明北港溪源流區流通係數在空間分佈之異向性，和堆積過程密切相關。

七、結論與建議

7-1. 結 論

1. 根據流通係數異向性分析的結果，北港溪西岸最小變異性的方向在北偏東45度，最大變異性的方向在北偏西45度，北港溪東岸局部地區最小變異性的方向在北偏向30度，最大變異性的

方向在北偏東60度，在大湖口溪及華興溪沿岸的部份，最小變異性的方向在北偏西60度，最大變異性的方向在北偏東30度；最小變異性的方向均與沖積層及河川堆積的方向類似，由此可證明河川附近含水層流通係數之變異性與河川地質環境形成之過程有直接關係。

2. 關於變異元模式的套配，因為在試驗變異元中有振盪的現象，所以，一些不精確性仍然存在。在實際的問題中，欲以有限的流通係數資料完全精確描述含水層自然之變異性是非常困難的，因為在建立變異模式時，除了自然地質環境形成的機制非常複雜之外，對於地質統計參數（變異元之影響範圍、臨界相關值、碎塊效應）之決定，也是誤差形成之所在，若試驗變異元振盪激烈，以何種模式套配，則變成是見仁見智之問題。

3. 因為碎塊效應能夠反應地質在短距離內巨大之變異，由雲林北港溪東西兩岸異向性分析成果比較，東岸碎塊效應值均較西岸為大，由此可知東岸之地質變化較西岸複雜，因為東岸係數斗六台地由堆積形成，地質多為礫石與砂層混合交錯，而西岸為濁水溪沖積扇由砂層所形成。

4. 北港溪西岸的井位分佈是呈狹長形，做異向性分析時，與井位分佈走向近乎垂直的幾個方向，因為配對數太少，以致於無法得到較穩定的結構；同時對於容忍角的選擇，因為井位分佈極不均勻，容忍角較大時，在多個方向均能包含所有井位的情況下，均得到相同的變異結構，失去了異向性分析的意義，因此，井位分佈的均勻性也是做異向性分析時重要的考慮因素。

7-2. 建 議

1. 地質鑽探是瞭解地質情況最直接而有效的方法，可是限於經費、人力、技術、工期各項因素的影響，只能由某些特定位置取得有限的資料，若是能配合克利金(Kriging)推估法，對區域性的參數分佈型態進行瞭解，應當能對整個區域的地質情況有更清晰的描述。而克利金推估法推估結果的精確性則取決於空間變異模式之

建立是否完善，往後若能針對某些特定的地質建立變異模式參數資料庫（例如：沖積層的影響範圍是介於1公里至10公里，石灰岩的影響範圍大於20公里…），則應當能使克利金推估法的應用更廣泛便捷。

2.雖然藉用流通係數空間分佈變異僅能研判地質形成方式不同之一種方法，將來可能亦要配合其他研究增加其可信度（如水質定年、花粉及有孔蟲等等），而本研究與其不同之處在於利用地質統計以數理方式分析。

3.本文中之流通係數，所取樣之資料，因為各井非分層採水，所以所得之值為平均值，所分析之成果是以平均的樣式呈現，往後若能蒐集到分層採水之資料，再加以分析，當能對整個區域的參數分佈有更詳盡的描述。

八、參考文獻

- 1.譚義續、李繼尊，「雲林北港溪局部地區及其支流大湖口溪及華興溪沿岸流通係數之空間變異結構分析」，八十二年度農業工程研討會論文集，79至92頁，民國八十三年。
- 2.譚義續、李繼尊，「克利金法探討雲林北港溪兩岸流通係數之變異分析」，地下水資源及水質保護研討會論文集，119至138頁，民國八十三年。
- 3.孫習之，「臺灣省北港至濁水溪平原區域航照地質之研究」，臺灣省石油地質10號，187至199頁，民國六十一年。
- 4.陳世楷，「區域化變異數理論應用於斗六含水層流通係數變異性之研究」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，民國八十三年。
- 5.許敏楓，「雨量空間變異及站網設計之研究」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，民國八十三年。
- 6.張良正、蘇惠珍，「通用克利金法於地下水觀測網規劃之應用」，地下水調查分析與保育管理論文集，191至205頁，民國八十一年。
- 7.張瑞麟、李信玄，「礦量評估之地質統計分析研究」，礦冶第32卷第4期，民國七十七年。
- 8.賀忠洋，「臺灣三種農耕土壤水分特性變異之

研究」，國立台灣大學農業工程學研究所碩士論文，民國七十八年。

9.楊萬全，「濁水溪平原地下水域水文地質之分析研究」，國立臺灣師範大學地理研究所集集共同引水計畫後續規劃研究工作第二期，民國七十八年。

10.鄭士仁，「降雨深度最佳估計方法之研究及其應用於區域雨量站網之規劃設計」，國立台灣大學農業工程研究所碩士論文，民國八十二年。

11.Aboufirassi, M. and M. A. Marino, (1984), "Cokriging of Aquifer Transmissivity from Field Measurements of Transmissivity and Specific Capacity", *Mathematical Geology*, Vol. 16, No. 1, pp.19-34.

12.Bastin G., B. Lorent, C. Duqu'e and M. Gevers, (1984), "Optimal Estimation of the Average Areal Rainfall and Optimal Selection of Raingage Locations", *Water Resources Research*, Vol. 20, No. 4, pp.463-470.

13.Delhomme, J. P., (1976), "Applications de la th'eorie des variables r'egionalis'ees dans les sciences de l'eau", (in French), Th'ese de Docteur-Ing'enieur, 160pp., Univ. Pierre et Marie Curie, Paris.

14.David, M., (1977), "Geostatistical Ore Reserve Estimation", Elsevier Scientific Publishing Co., New York.

15.Delhomme, J. P., (1978), "Kriging in hydroscience", *Advances in Water Resources*, Vol. 1, No. 5, pp.251-226.

16.Delhomme, J. P., (1979), "Spatial variability and nucertainty in groundwater flow parameters: a geostatistical approach", *Water Resources Research*, Vol. 5, No. 2, pp.269-280.

17.Freeze, R. A., (1975), "A Stochastic-Conceptual Analysis of One-Dimensional Groundwater Flow in Nouniform Homogeneous Media", *Water Resources Research*, Vol. 11, No. 5, pp.725-741.

18.Isaaks E. H. and R. M. Srivastava, (1989), "An Introduction to Applied Geostatistics", Oxford

University Press Inc.

19. Matheron, G., (1971), "The Theory of Regionalized Variables and its Applications", Paris School of Mines, Cah. Cent. Morphologic Math., Fontainebleau, France.

20. Marsily, G. de, (1986), "Quantitative Hydrogeology Groundwater Hydrology for Engineers", Academic Press, New York.

21. Nielsen, D. R., J. W. Biggar and K. T. Erh, (1973), "Spatial Variability of Field-Measured Soil Water Properties", Heilgardia, Vol. 42, No. 7, pp.121-123.

22. Rouhani, S., (1985), "Variance Reduction Analysis", Water Resources Research, Vol. 21, No. 6, pp. 837-846.

23. Rouhani, S., (1986), "Comparative Study of Groundwater Mapping Techniques", Ground Water, Vol. 24, No. 2, pp.207-216.

24. Rouhani, S. and T. J. Hall, (1988), "Geostatistical Schemes for Groundwater Sampling", Journal of Hydrology, 103, pp.85-102.

25. Sophocleous, M., J. E. Paschetto and R. A. Olea, (1982), "Ground-Water Network Design for Northwest Kansas, Using the Theory of Regionalized Variables", Ground Water, Vol. 20, No. 1, pp.48-58.

26. Warrick, A. W., D. E. Myers and D. R. Nielsin, (1986), "Geostatistical Methods Applied to Soil Science", in A. Klute (ed.) Methods of Soil Analysis, Part I, pp.53-80.

收稿日期：民國83年5月24日

修正日期：民國83年11月18日

接受日期：民國83年11月21日

(上接第76頁)

image 1988 processing. Addison Wesley.

9. Gunasekaran, S., T. M. Copper and A.G. Berlage. 1988. Evaluating quality factors of corn and soybeans using a computer vision system. Transactions of the ASAE 31(4) : 1264-1271.

10. Jain, A. K. 1989. Fundamentals of Digital Image Processing. Prentice-Hall International, Inc.

11. Miller, B. K. and M.J. Delwiche. 1991. Peach defect detection with machine vision. Transactions of the ASAE 34(6) : 2588-2597.

12. Rosenfeld, A. and A. C. Kak. 1982. Digital Picture Processing. 2nd ed. Academic Press.

13. Wigger, W. D., M. R. Paulsen, J. B. Litchfield and J. B. Sinclair. 1988. Classification of fungal-damaged soybeans using color-image processing. ASAE paper no. 88-3053.

收稿日期：民國83年9月23日

接受日期：民國83年10月12日