

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

多目標與多變數地下水水質監測站網規劃方法研究

Preparation of NSC Project Reports

計畫編號：NSC 89-2313-B-024-001

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：林裕彬 執行機構及單位名稱：中國文化大學景觀學系

計畫參與人員：鄧東波 執行機構及單位名稱：中國文化大學景觀學系

林慧娟 執行機構及單位名稱：中國文化大學景觀學系

戴采芬 執行機構及單位名稱：中國文化大學景觀學系

一、中文摘要

一般地下水水質監測站系統設計或評估，大多僅以一目的與一水質項目分析，所得之監測站網往往須監測一種以上水質項目及兼具多目的。然而大區域性之地下水水質常隨時間與空間變化，且不同之監測項目，其空間之變化可能不一樣。因此，多目標與項目地下水水質監測站實為瞭解區域性地下水水質時空間(Spatiotemporal)變化之出象(outcome)之重要工具。

本研究以屏東平原地下水水質監測站網為分析對象，以因子分析、地理統計、條件模擬法，進行監測站之選址，因子分析結果顯示，TDS與氯離子為第一與第二因子之代表變數，且此二因子可解釋所有變異之70%，此二變數之條件模擬值與實際值統計特性相近，以模擬值超過容許值次數及變異間距超過觀測值變異間距兩倍，所選出之測站結果能滿足其對多變數監測之代表性。

關鍵詞：因子分析，地理統計，逐步高斯模擬，多變數監測站網

Abstract

Most of methods for designing or evaluating Groundwater Quality monitoring network system are based on the characteristics of one item and one objective, but multiple items and objectives will be sampled by this system. In Large Regional monitoring, groundwater quality sometime displays Spatial Variability. Moreover, the different monitoring items display different spatiotemporal variation. Therefore, Multiple objectives and items

groundwater monitoring network is the most important tool to understand the spatiotemporal out come of regional groundwater quality.

This study used factor analysis, geostatistics and conditional simulation to assess the groundwater quality monitoring network at Peiton Area.

The results indicated that TDS and Cl⁻ are the presenting variables of factor 1 and factor 2 explained 70% total variability. The simulated values of these two variables are statistically close to the values of measured TDS and Cl⁻. However, the selected monitoring wells by using rank and variance range of simulated values satisfy the multiple-variable monitoring network.

Keywords : Factor Analysis , Geostatistics, Sequential Gaussian Simulation, Multiple-variable monitoring network

二、緣由與目的

環境監測站網系統包含樣本點及樣本頻率之選定。此監測站網系統所提供之訊息可做為自然資源之整治及管理。因此，必須建立一有效率之監測站網來減少成本及風險。

而監測的資料常顯示出可能含有明顯程度的未確定性，這些未確定性包含了觀測值及擴散介質複雜的空間及時間變異，這些介質變異情形可能是非常複雜，因此很多研究及方法探討這些變異特性。尤其在大區域的監測站規劃，由於全區的水文地質存在著許多的未確定性，且詳細水文地質狀況往往無法全然瞭解，不同的地區

其水質監測項目之分布狀況亦不相同。因此，增加地下水水質監測站網規劃與評估之未確定性與困難度。

且眾多方法多以單一目的與一代表變數決定監測站之位置，甚至代表項目之選擇因人而異，尤其是於水質監測站之選擇，往往以單一水質監測項目決定監測站位置，此監測系統卻於採樣時，須採取多項水質項目，其代表性值得探討。有關地下水水質監測站網規劃的研究與方法甚多，例如水文地質分析法、優選法、模擬法、減變異數法及機率法等統計方法。且監測站網規劃之國內外研究論文很多，例如 Christakos and Olea (1988)、James and Gorelick (1994)、Loaiciga (1989)、Rouhani (1985) 及 Rouhani 和 Hall (1988)、徐年盛等(1991)、蘇蕙珍、張良正(1992)、林碧山等(1994)與 Rouhani(1985)、黃文政與王慶藏 (1996)、鄭克聲等(1996)、張榮枝與高正忠(1996)、林裕彬(1998)。

三、研究方法與步驟

(一) 變異圖分析

變異圖或半變異圖(Variogram or Semivariogram)之決定為地理統計分析之第一個重要步驟，其算式如下：

$$\gamma(h) = 0.5E\left[(z(x+h) - z(x))^2\right]$$

式中 $z(x)$ = 在點 x 之觀測值， $z(x+h)$ = 在點 $x+h$ 之觀測值， h = 點 x 與點 $x+h$ 之距離。以半變異數與距離為坐標軸所繪之散佈圖，稱為實驗變異圖(Experimental variogram)，其方程式如下：

$$\gamma(h) = (1/2N(h)) \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2$$

其中 $N(h)$ = 配對數， h = 平均距離。

逐次高斯模擬過程(Deutsch and Journel, 1992)

- 定義一隨機路徑(Random Path)
- 決定簡單或一般克利金與常態化變異圖，若資料較大且區域性平均值似乎隨地區有顯著變化時，則採用一般克利金，或者使用簡單克利金法。本研究採一般克利金。使用所選擇克利金與變異圖決定於 x 點之 $Y(x)$ 之 ccdf 參數(平均數、變異數)。
- 由此 ccdf 模擬出第 m 次之 $Y(x)$ 數值。

d. 加步驟 c 之模擬數值於資料中。

e. 執行下一點之模擬，直到所有被模擬點皆執行模擬完畢。

f. 將模擬之常態化 $y(x)$ 值轉換回 $z(x)$ 值。

g. 執行模擬 l 次，並探討各模擬值之變異圖與實際值之變異圖以及各土壤重金屬模擬實際值分佈。

本研究之研究方法，首先應用因子分析 (Factor Analysis) 與條件隨機模擬 (Conditional Stochastic Simulation) 方法，尋找出研究區內之代表性水質監測項目，於各主因子中選出因子得點最高者(因子代表變數)，求取代表變數之相關係數，並定義一監測表變數，此變數為各最高得點變數(因子代表變數)之線性和。以條件隨機模擬進行水質空間分布之條件模擬，藉由不同之空間隨機出象之水質模擬域，選出代表監測項目地下水水質超出監水質標準或污嚴重頻率較高之位置，模擬後結果，予以排序 (Ranking)，比較兩份排序結果，即可列出優先設站之順序。以上兩點均無法利用傳統之單點推估模式達成，故本研究試圖討論比較以條件模擬法所提供建議新設站址之結果，模擬次數為 10 次、30 次、50 次、100 次。

(二) 案例研究

本研究以屏東平原為研究範圍(圖 1)，屏東平原內之地下水水位，張良正(1997)已有相當的研究、探討與成果。唯針對水質則較無探討。資料來源為經濟部水資源局報告(台灣地區地下水觀測網水質調查分析及指標井選定研究成果報告，1999)，民國八十六至八十八年間於屏東平原沖積扇，所鑽取之 39 口觀測井，各觀測井之二度分帶座標參見圖 1。

四、結果與討論

在因子分析過程，本研究分析所採集觀測之十五種水質相關因子，以統計軟體 SSPS 進行因子分析。根據表 1 之各水質因子特徵值，選擇第一組、第二組因子所能佔有整體變異量較大，由變異累積百分比發現，由一、二兩組因子之各組合亦以超過整體變異量之百分之七十。再由各水質變數之因子得點表(表 2)中可發現，第一

組因子以 TDS、總鹼度、COD 及 NH_3 得點較大，第二組因子則以氯離子最為顯著。

在變異圖分析過程中本研究為測試各種理論套配模式的適用性，採用交叉驗證法 (Cross Validation) 作為驗證之工具。再比較 TDS 與氯離子之試驗半變異元圖，分別以不同之理論模式 (指數、球形、高斯) 套配之結果。採用無因次變異圖之下，TDS 之套配結果以指數模式 RSS 為 33.2 為佳 (表 3)，在氯離子則為高斯模式較佳 (表 4)。

條件模擬法所得結果顯示，由總溶解固形物與氯離子在敘述統計量的比較上，條件機率模擬較克利金推估法更為接近實測值所顯現之統計特性。

本研究結果，依超過容許值次數、變異間距超過觀測值變異間距兩倍，將模擬結果予以排序。對建議之未設站站址座標如表 5。

五、結論

1. 本研究以屏東平原地下水質為分析對象，經因子分析後選擇 TDS 與氯離子為分析標的。經模擬後，結果發現經由逐步高斯模擬法，對未設站之未知值可以得到一個具整體意義之統計量，且這些統計量皆接進實測值之統計量。
2. 多變數監測站網可更準確監測主要水質 (多變數) 之空間污染特性，且具有其代表性。
3. 不同之水質模擬次數所得之監測站位置亦不相同，此可為後續未確定性研究之參考。
4. 本研究僅討論監測兩個變數，未來之研究可加入更多變數進行探討。

六、參考文獻

1. Chistakos, G. and Olea R., A multiple-objective optimal exploration strategy. *Math. Comput. Modeling.*, Vol. 11:pp413-418,1998.
2. Deutsch C. V. and A. G. Journel, *Geostatistical Software Library and User's Guide*, Oxford University Press., New York, 1992.
3. James, B. R. and S. M. Gorelick, When Enough is Enough: The worth of monitoring data in aquifer remediation design, *Water Resour. Res.* Vol. 30 No. 12: pp3499-3513, 1994.
4. Loaiciga, H. A., An optimization approach for groundwater quality monitoring network design, *Water Resour. Res.*, Vol. 25 No. 8, pp1771-1782, 1989.
5. Sterk, G. and A. Stein, Mapping Wind-Blown Mass Transport by Modeling Variability in Space and Time, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61, p232-239, 1997.
6. 林裕彬，多變數地下水水質監測站網之規劃與評估，*台灣水利*，第 46 卷第 3 期，pp62-75，1998。
7. 林碧山、余進利、張璠、吳永曾，地下水水質監測井網規劃之研究，*地下水資源及水質保護研討會*，pp 675-691，1994。
8. 張良正等人，屏東地區地下水補助量推估 (一)，*經濟部水資源局*，1998。
9. 張榮枝、高正忠，以整體規劃模式進行地下水水質監測站址優選，*第九屆環境規劃與管理研討會*，pp337-343，1996。
10. 曾國雄、鄧振源，多變量分析(一)，*松崗出版社*，1987。
11. 黃文政、王慶藏，克利金法於雨量站設置之應用，*農業工程學報*，第 42 卷第 1 期，pp44-55，1996。
12. 經濟部，台灣地區地下水觀測網整體計畫八十四至八十五年度濁水溪沖積扇及屏東平原觀測站網建立及運作管理工作報告，*經濟部*，1997。
13. 經濟部水資源統一規劃委員會，*中華民國八十三年臺灣水文年報*，1996。
14. 劉振宇、王暨泉、江漢全、余進利，彰濱工業區附近地下水水質分析，*台灣水利*，第 40 卷第 4 期，pp60-73，1992。
15. 鄭克聲、許敏楓、葉惠中，雨量站網設計與評估-區域化變數理論之應用，*台灣水利*，第 44 卷第 1 期，pp16-25，1996。
16. 盧志銘、蔣錦華、朱文生，地下水水質監測井網設計，*地下水水質監測井網規劃之研究*，*地下水資源及水質保護研討會*，pp 693-707，1994。
17. 蘇蕙珍、張良正，通用克利金法於地下水觀測網規劃之應用，*地下水水質監測井網規劃之研究*，*地下水調查分析與保育管理論文集*，pp 191-205，1992。

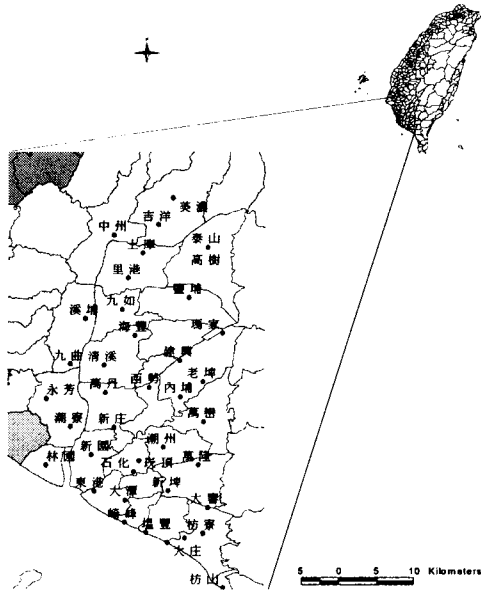


圖 1 觀測井之二度分帶座標圖

表 1 各水質因子特徵值

因子	特徵值	變異百分比	累積百分比
1	6.085	46.81	46.81
2	2.695	23.04	69.85
3	1.498	11.53	81.37
4	1.033	7.95	89.32

表 2 各水質變數之因子得點

水質監測項目	因子一	因子二	因子三	因子四
PH	0.61495	0.14640	0.18594	0.56475
Eh	0.44532	0.24763	-0.33904	-0.48115
電導度	0.01245	-0.70098	0.04577	0.36814
TDS	0.97820	-0.09043	-0.12240	-0.06769
總鹼度	0.94266	-0.11916	-0.00948	-0.13636
硬度	0.67410	-0.07251	-0.09908	-0.02648
COD	0.91181	-0.16622	0.06775	-0.15275
BOD	0.29318	0.26492	0.79660	-0.05476
Cl ⁻	-0.21760	0.70040	-0.39547	0.23055
SO ⁴⁻	0.33112	0.93454	0.36121	0.16020
NO ₃	0.77203	-0.07843	-0.37021	0.38175
NH ₃	0.84992	-0.22174	0.26903	-0.26854
砷	0.25091	-0.38702	0.43189	0.00848
鐵	-0.21135	0.41536	-0.85037	0.72897
鉛	0.10966	0.33278	0.36046	0.47396

表 3 總溶解固型物變異圖相關參數分析

變異圖模式	碎塊效應 (無因次)	閾值 (無因次)	影響範圍	RSS	r ²
			(公里)		
指數	0.62	0.23	5.6	33.2	0.034
球型	0.65	0.34	5	46.1	0.047
高斯	0.7	0.52	6.2	44.3	0.056

表 4 氯離子變異圖相關參數分析

變異圖模式	碎塊效應 (無因次)	閾值 (無因次)	影響範圍	RSS	r ²
			(公里)		
指數	0.62	0.23	5.6	33.2	0.034
球型	0.65	0.34	5	46.1	0.047
高斯	0.7	0.52	6.2	44.3	0.056

表 5 本研究建議新設站址座標

X	Y
2489596	192603
2490468	202910
2496299	192897
2518880	201523
2474440	207641
2478418	205139
2481888	198608
2502293	197513
2504990	200918
2485927	198026