

第一章 緒論

1.1 研究目的

由於地下水含水層地質結構變化極為複雜，而描述地下水層變化的水文地質參數，常因經濟、技術等因素限制，只能在某些特定區域取得，因此常有取樣點不足或分佈不均之情況發生，若利用這些已知的資料進行推估其他位置的水文地質參數值（如：地下水位、透水係數、水質濃度...等），將會存在相當的不確定性。因此，為降低這些客觀限制條件對站網整體效益的影響，觀測站網規劃的目標常是在種種限制條件下決定各站網之最佳位置及數量，以降低地下水文參數推估的不確定性。

目前台灣各地區之地下水觀測井大多在部份重要地下水區已佈設完畢，而這些地下水觀測井在監測地下水位的同時，對於監測地下水質也有相當大的幫助，但若要取得站網中所有的水質資料，則須龐大的地下水採樣及檢測費用。因此，在衡量效率與成本的情況下，針對既有之地下水觀測井網，挑選出可同時考量水文地質和地下水水質的監測井。希望在掌握區域地下水水質變化的同時，亦能降低檢測作業的成本，即利用最少之經費發揮監測井網的最大效益。

以往的觀測井網設置，係利用降低變異數分析法(Variance reduction analysis)以克利金法(Kriging method)或聯合克利金法(Co-kriging method)為理論基礎，考慮一個或多個地下水質參數間的相關性發展一佈井模式。如以單一水質為監測目標，利用克利金法發展之佈井模式所挑選出之監測井網，必然相當符合監測目標；但監測多項地下水質時，因難以判斷各項地下水質項目間的重要性，所以利用傳統地質統計方法所發展出之監測井網佈井模式，較無法顧慮全部欲監測之地下水質項目。本研究以因子克利金法(Factorial kriging)取

代傳統地質統計方法發展一監測井網佈井模式，利用能整體表現多項水質項目的因子(factor)，設計一可同時兼顧多項地下水質的監測井網。

因子克利金法包括半變異元理論(Variogram modeling)、主成份分析(Principal component analysis)及聯合克利金法。與傳統克利金法最大不同的地方，因子克利金法可以將一個具相關性的空間結構，拆解成由各個互不相關的空間尺度結構線性組合而成，之後再針對各個空間尺度結構加以分析。另外，在各個空間尺度結構下，可利用其共區域化矩陣(Co-regionalization matrix)進行主成份分析，在考慮空間相關性的先決條件下找出現象背後的造成原因。



1.2 文獻回顧

1.2.1 克利金法

克利金法最早由 Matheron G.於 1971 年整理成文，其理論基礎是以區域性變數(Regionalized variable)來描述代表自然現象之參數於空間之分佈，並建立區域性變數於不同位置間之變異函數作為推估之依據。克利金法除了提供最佳推估外，同時可求出一量化數值，即克利金變異數(Kriging Variance)，以表示推估之不確定性。

克利金法自發展以來先後被許多學者應用於地下水有關領域內，如：Delhomme(1976)以地質統計分析進一步顯示經過對數轉換後之流通係數，在常態分佈下具有較原值更佳之空間變異結構；Rouhani(1985)利用降低克利金變異數之方式，計算當新增量測點所獲得之資訊增益風險排序，並將相對增進的推估精確度以經濟增益的形式表示，做為觀測站網分析與規劃的參考；蘇與張(1992)探討觀測井網分佈均勻度或密度改變導致推估誤差之變化；潘與張(1996)根據降低變異數分析繼續發展，考慮增設井位置在不同區域有不同權重，探討設井位置之分佈密度對於最佳井位分佈之影響。

1.2.2 聯合克利金法

聯合克利金的概念，首先由 Journel and Huijbrechts(1978)提出。其研究中描述了聯合克利金法主要使用在利用採樣較多的參數來推估採樣較少的參數。

其後尚有相當多關於聯合克利金法應用於有關地下水領域之研究，如：Methron(1979)克利金法與聯合克利金法之相異性的研究；Myers(1982)聯合克利金矩陣公式及複變異元模式之研究；Rouhani and Wackernagel(1990)應用多變量地質統計與時空間估計於地質水文資料分析；Ben-Jemaa et al.(1992)、邱與張(1997)以聯合克利金法進行

地下水觀測井網之規劃；Fethi et al.(1994)利用聯合克利金設計觀測多項地下水參數之地下水站網，並與單變數之克利金方法(Univariate kriging)之運用各別參數推估之站網比較兩者之優劣。

1.2.3 因子克利金

大多數的情況中，探討一個地區的特別現象時必須量測數種變量，再利用多變量分析法如主成份分析法，找出影響此地區變量的背景原因。但傳統的多變量分析法並未考慮變量與變量間具有的空間相關性，而此一忽略常造成分析上的偏差。為了克服傳統多變量分析法的這種缺失，1982年法國數學地質學家 Mathron 首先提出因子克利金法，此法主要是結合了半變異元理論、主成份分析與聯合克利金法三個部份。

P. Goovaerts(1992)將 Mathron 提出之因子克利金法，完整且詳細的描述其理論基礎及分析流程，並以一模擬案例說明實際應用的分析結果；Dobermann 等(1995)利用因子克利金分析菲律賓地區之老陳土(Ultisol)，推論其在不同尺度的空間變異下所特有的土壤化學特性其背後之形成機制；邱與張(1999)及蔡與張(2003)應用克利金法了解重金屬在空間上分佈情形，配合土地利用調查資料分析重金屬污染的成因和界定污染範圍；S. Bocchi 等(2000)利用因子克利金推估各空間尺度下區域化因子的空間分佈圖，以分析農地土壤狀況制訂農地經營及管理方法；Subhrendu Gangopadhyay, Ashim Das Gupta, and M.H. Nachabe(2001)運用多變量分析中之主要因子分析方法(Principal component analysis)，來決定觀測站網中那些觀測井可提供主要之地下水位變化之資訊，但並未用因子克利金，且直接用之各站歷年年水位資料組成之矩陣，用 PCA 分析，而非利用共區域化矩陣來分析；E. Pardo-Iguzquize, P.A. Dowd(2002)利用 Fortran 程式語言撰寫因子克

利金法的計算機程式，程式主要分為兩部份，一支程式(LCMFIT2)為在共區域化矩陣(Co-regionalization Matrix)為半正定矩陣(Positive Semi-definite Matrix)的條件下，找出各配對變數中各空間尺度最佳的基值(Sill)；另一支程式(FACTOR2D)為計算各區域化因子(Regionalized Factor)的值或空間組成成份(Spatial Component)的值。本研究係利用FACTOR2D為基礎，針對本研究之目的修改程式，以便達到本研究之目的。

1.2.4 遺傳演算法

遺傳演算法(Genetic algorithm)為一非傳統性之方法，結合了大自然的選擇作用及遺傳機制為基礎的一種搜尋方式，在處理多峰函數最佳化問題上，遺傳演算法大幅提昇了收斂於整體最佳值(Global Optimum)的機會。遺傳演算法源自於1970年代，由John Holland與其同事及學生於70年代在Michigan大學所發展，目前已經成為一種能力很強的優選方法。

遺傳演算法的功能強大，已被廣泛應用於各個領域。在土木工程方面，曾等(1997)應用於規劃高速公路收費站最佳位置；洪與劉(1997)用以研究剛構斜張橋最小重量之最佳化設計。水資源工程，有Wang(1991)應用於降雨入滲模式的參數檢定；Oliveira and Loucks(1997)多水庫操作系統之研究；張與張(2003)整合遺傳演算法、線性規劃及水庫模擬等方法，發展一新的水資源最佳調配模式。地下水管理模式，蕭(2001)於地下水之水量管理與污染整治模式中，結合遺傳演算法與動態控制理論提昇地下水資源管理效率。地下水觀測井網規劃設計，陳與張(1998)以遺傳演算法改良以聯合克利金為基礎之地下水觀測井網佈井模式；蔡與張(1999)以D-Optimal分析之準則定義一個井網設計模式，配合遺傳演算法優選出最佳之觀測井網。