

應用專家系統於沖積扇地區之水文地質分析

HGES, A Rule-Based Expert System for Alluvial Fan Hydrogeology Analysis

國立臺灣大學農業工程學研究所碩士

楊 廷 皓
Ting-Hao Yang

國立臺灣大學農業工程研究所教授

暨國立臺灣大學水工試驗所研究員

譚 義 績
Yih-Chi Tan

國立臺灣大學水工試驗所博士後研究員 國立臺灣大學水工試驗所博士後研究員 國立臺灣大學水工試驗所博士後研究員

彭 宗 仁
Tsung-Ren Peng

童 慶 斌
Ching-Pin Tung

蔡 存 孝
Twswn-Syan Tsay

摘 要

本研究的主要目的是探討專家系統應用於水文地質架構的可行性。針對濁水溪沖積扇南端地區的水文地質資料，包含了沉積物對比、地球物理探測、有孔蟲化石等古生物遺蹟，應用專家系統找出剖面上地層的對比，並求出該剖面上的水文地質地層架構圖。

其研究方法可以分為三步驟：(1)專家系統依據岩心資料與地電阻資料，分成富水層與阻水層。(2)針對每一鑽測井，運用專家系統，根據其富水層(含水層)的延伸深度、密度，合併為較大的分層機制。(3)利用分層的資料，運用專家系統分析鄰近鑽測井地層與該地層的相關性，連接個別富水層與阻水層，最後求出其剖面上的連線。

由結果顯示，專家系統所得的對比結果與中央地質調查所的對比非常相近，判別出三個主要的富水層與兩個主要的阻水層，可見專家系統可做為將來地層對比的一項工具。

關鍵詞：專家系統，水文地質架構，地層架構圖。

ABSTRACT

The primary purpose of this research is to establish HGES (HydroGeology Expert System), a rule-based expert system on implementation of hydrogeological framework. Based

on hydrogeological data (including geologic core logging, electric logs and foraminifers data) of Choushui River fan, using HGES to determine hydrostratigraphic subdivision of each profiles and hydrogeological framework of Choushui River area.

The results of this research are close to the results obtained from Central Geological Survey, three major aquifers and two major aquitards were identified by the HGES. The results show that besides HGES can decrease the time, efforts and errors, it can also be a very precise tool in future hydrogeological research.

Keywords : Expert System, Hydrogeologic framework, Hydrostratigraphic subdivision.

第一章 緒 論

1-1 研究動機

瞭解濁水溪沖積扇地區水文地質架構是建立雲林地區地下水模式的第一步驟，有正確的區域水文地質架構，模式分析、應用才能有較正確的結果。以往工程上應用的模式，對於地質架構的假設，往往過於粗糙、簡略，無法正確的代表一地的水文地質架構，導致結果誤差較大，甚至於要花更多的時間進行校正；但是若是要嘗試著用更精確的地層模式，又要花許多時間來進行。以往在水文地質對比方面有相當多的研究成果，因此，希望能找出一種適合運用電腦輔助的方式，利用這些研究成果做為對比的規則，來提高地質模式架構建立的效率。

沖積扇地區水文地質架構的建立包含了對比沉積物、地電阻及有孔蟲等古生物遺蹟。以往水文地質架構是以人為的判斷來進行地層對比（圖1），來推測兩點間的地層關係，因為人為對比的方式較為主觀，沒有一定的對比方式，對比結果較不一致。除此之外，水文地質資料量非常龐大，若只看區域地質資料，則不易對比（圖2）。所以，地層對比工作，對非水文地質專業人員來說更是吃力。除此之外，這種方法不論對專業人員或非專業人員來說，都是一件費時費力的工作。地質架構對比的建立，主要是由經驗方法為主的判斷，一般的電腦程式系統不容易處理，因此，如果能以專家系統來作為輔助對比的工具，可以提升效率，不僅可以提供專家一套方便的輔助工具，也能幫助非水文地質專業人員提高判斷上的正確率。

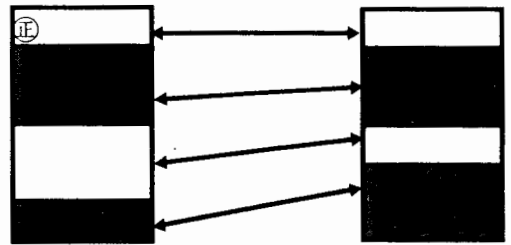


圖 1. 地層對比簡意圖

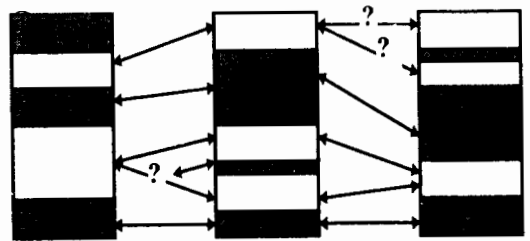


圖 2. 傳統地層對比常發生的困難

1-2 研究目的

本研究的主要目的是探討專家系統應用於水文地質架構。針對一沖積扇地區的鑽測井岩類資料、地電阻資料等水文地質資料及有孔蟲化石遺蹟，應用專家系統對剖面上各鑽測井作地層的對比，求出該剖面的水文地質地層剖面圖。

1-3 研究方法與步驟

其研究方法可以分為四個步驟：

1. 根據鑽測井的岩心資料與地電阻資料，分析

鑽探井各深度上的岩性，分類成近富水層岩類與近阻水層岩類。

2. 針對每一鑽測井的岩類資料，運用專家系統，根據其富水層的延伸深度、密度，合併為較大的分層機制，以簡化工程應用上問題。
3. 利用分層的資料，分析鄰近鑽測井地層與該地層的相關性，並找出可能地層之集合，並給與各對比地層一對比較度(圖3)，至於可靠度的選取會在第三章探討。
4. 對一鑽測井的全部地層與另一鑽測井的全部地層進行組合，找出所有地層之對應關係(圖4)。

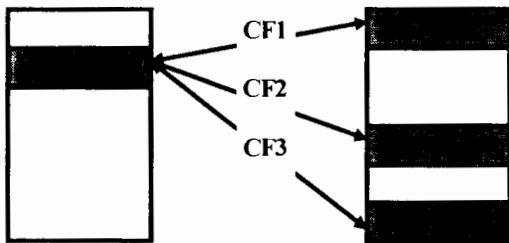


圖 3. 對一地層與其它類似地層分析

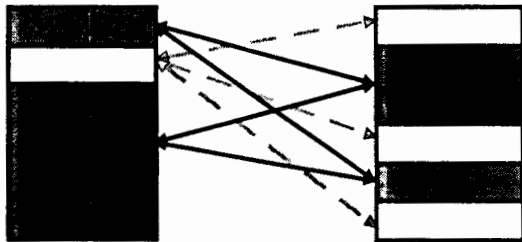


圖 4. 對全部地層進行組合

1-4 研究內容大綱

1. 本研究內容在第三章主要介紹專家系統的架構、不確定因子的處理辦法與本系統推理規則的來源與定值的方法。第四章是以濁水溪南岸海園—東河剖面為例，展示各種執行步驟與執行結果，並將執行結果與中央地質調查所的對比剖面相分析、比較。第五章則是本研究的結論與建議事項。

第二章 文獻回顧

最早的專家系統是1965由Stanford大學所發展的DENDRAL專家系統，這個專家系統主要的功能是分析物質內所含的化學成份。之後各大學又陸續發展了許多專家系統，包括MYCIN系統，應用在診斷疾病上，DIPMETER用來分析地質尋找石油，PROSPECTOR分析礦物及XCON/R1用來架構電腦系統(Giaratano 1993，張斐章 1992)。至今專家系統已大量應用在國防科技、醫學診療、電路設計、地質探勘及法律諮詢等領域上，均獲得不錯的成果(莫懿美，1990)。茲將一些專家系統發展史上較重要的事件列於表1(Giaratano 1993)。

表2為目前地質上應用的專家系統(Giaratano 1993)。這些地質專家系統都是應來分析地質與井資料，或者尋找特定礦物，目前並沒有分析地層結構，或分析地層對比的專家系統。

由於專家的推理規則通常是不確定的，因此專家系統必須使用特別技巧來處理這一種不確定性。傳統處理不確定性的方法及理論有Certainty Factor (Carnap 1950)、Dempster-Shafer理論(Dempster 1967)及模糊(Fuzzy)理論(Zadeh 1965)。其中因為模糊理論的後續研究與應用最多，使得模糊理論的適用性最廣，是最常用的方法(Giaratano 1993)。

以下是本研究中所探討地質方面的相關文獻摘要：

1. 賴慈華等(1995)對濁水溪平原南翼進行地層對比分析，利用岩心觀察結果，辨認出十八種岩相，將經常共存的岩相歸併成五種岩相組合，並利用兩個主要海侵面將本區地層區分成三個層序。
2. 袁彼得等(1993；1994；1995)建立各探井之地層柱，進行沉積物之粒度分析、黏土礦物分析。並依據海相貝殼碎屑及棕色地層作為海相及陸相指標，進行地層對比。
3. 江崇榮等(1994b)依據沉積物粒徑分佈與沉積物特性，設計沉積物之劃分標準、名稱、代碼及圖例。
4. 江崇榮等(1995)建議將礫石層、粗砂及中砂層(水力傳導係數介於 10^{-3} 到 10^{-5} 公尺／

表1 專家系統發展史上較重要的事件

年	事 件
1943	後生產規則； McCulloch 及 Pitts 神經模式
1954	Markov 演算法應用於控制規則執行
1956	Dartmouth 會議；邏輯理論家；經驗搜尋；“人工智慧”定義
1957	GPS (General Problem Solver 一般問題解決機)
1958	LISP AI 語言 (McCarthy)
1962	Rosenblatt 的「神經動態定理」
1965	自動理論證明 (Robinson)；模糊邏輯應用於理解模糊物件 (Zadeh) 最早的專家系統 DENDRAL 開始建製 (Feigenbaum, Buchanan 等)
1968	語意網模式與交換式記憶模式 (Quillian)
1969	MACSYMA 數學專家系統 (Martin and Moses)
1970	PROLOG 開始發展 (Colmerauer, Roussell 等)
1971	HEARSAY I 應用於語音辨認
1973	MYCIN 專家系統用於醫學診斷 (Shortliffe 等)、 GUIDON 智慧教學 (Clancey)、TEIRESIAS 解釋設備概念 (Davis)、 第一個專家系統殼 EMYCIN (Van Melle 等)、 HEARSAY II 多專家合作的黑板模式
1975	框架知識表示法 (Minsky)
1976	AM(人造數學家) 數學概念的創造性發現 (Lenat) 對不確定性下，理解的理論 Dempster-Shafer PROSPECTOR 尋找礦物專家系統開始建製 (Duda, Hart 等)
1977	OPS 專家系統殼 (Forgy)，使用於 XCON/R1
1978	用於規劃 DEC 電腦系統的 XCON/R1 開始建製 (McDermott, DEC) META-DENDRAL，心理規則及規則推演 (Buchanan)
1979	Rete 演算法於快速圖徵比對 (Forgy)；商業化人工智慧開始 Inference 公司成立 (1985 年完成 ART 專家系統工具)
1980	符號與 LMI 應用在 LISP 機器的製造
1982	SMP 數學專家系統；日本發展第五代計劃，發展人工智慧電腦
1983	KEE 專家系統工具 (IntelliCorp)
1985	CLIPS 專家系統工具 (NASA)

表 2. 地質專家系統

名稱	用途
DIPMETER	分析 Dipmeter 井資料
LITHO	分析石油與水井資料
MUD	診斷並補救鑽探問題
PROSPECTOR	分析地質資料來尋求特定礦物

秒)歸類為主要富水層，粉砂、泥及黏土 (水力傳導係數介於 10^{-7} 到 10^{-10} 公尺/秒)歸類為主要阻水層，細砂及中砂因常夾泥層，水力傳導係數低 (介於 10^{-6} 到 10^{-7} 公尺/秒)，因為容易導致壓密沉陷，故併入阻水層之一。

5.董倫道等(1994)在虎尾、芳草、田洋觀測站範圍，發現主要富水層深度介於55～130公尺間，其電阻率大於60ohm-m，而主要富水層以下岩類顯現低電阻率的特性，可視為透水性較差的或黏土、泥或粉砂的互層。

6.董倫道等(1995)在濁水溪北岸地區，對資料較佳之87點以逆推方式進行詳細分析，解析得深40公尺以下有富水層A、B、C三層。A層在深40至95公尺間，電阻率40至80ohm-m；B層深95至115公尺間，電阻率60至470ohm-m；C層在深170公尺，電阻率60至400ohm-m。

7.黃奇瑜(1996)利用濁水溪沖積扇地質鑽探井的4039個岩心樣本中所含之有孔蟲微體化石含量，分析出濁水溪沖積扇可分為三個陸相層(一、三、五)間夾三個海相層(二、四、六)。

第三章 系統架構

3-1 簡介

整個系統架構包含三個部份：整合介面系統、資料庫管理系統及專家系統。整合介面系統為連接使用者、資料庫管理系統與專家系統的介面，因為後三者間彼此的溝通方式與資料形態都不一致，因此利用這個介面系統來統合各個子系統；資料庫管理系統是管理整個資料庫用的程式，因為水文地質資料過於龐大，以各程式搜尋資料庫會使得效率變差，所以利用這個管理系統來處理資料會改善其效果，資料庫管理系統的任務有增加、刪除、搜尋以及排序等。整個系統中最重要的算是專家系統，負責將所輸入的資料，由推理機依據系統內的規則，推演出結果，並將結果傳回介面系統。

在本系統中，專家系統與介面程式是自行設計、發展而成的系統，在下一節會有說明。而資料庫管理系統是採用水文地質資訊系統，資料庫是由Intergraph公司出產之Microstation及Oracle公司出產之關連式資料庫系統Oracle，資料是由水利司補助中央地調所與水利局計劃調查所得，而資料建置是由華興資訊公司所完成。

3-2 專家系統

專家系統是早期研究人工智慧時所發展出來的一門十分成功的學問，其定義為：使用知識與推理程序來解決問題的智慧程式，所針對的問題是屬於非常困難，需要專家才能提供解答(Feigenbaum 1982)；藉由專業人才的專業知識，以特定的格式將專家的經驗輸入專家系統的知識庫，形成有組織的規則系統，而能模擬人類專家的決策過程(Keller, 1987)。專家系統主要是由推理機(Inference Engine)、知識庫(Knowledge Base)所組成，前者負責事實的推演，後者是各種知識、規則的資料庫。典型專家系統的架構(圖5)(Luger, 1993)除了這兩個主要元件之外，另外加上其它子

系統，內容與功能如下：使用者界面－使用者與專家系統的溝過程式；解釋子系統－解釋系統所提出的問題與由專家系統所推演出來的結果；知識庫編輯器－讓使用者透過使用者介面編輯知識庫。

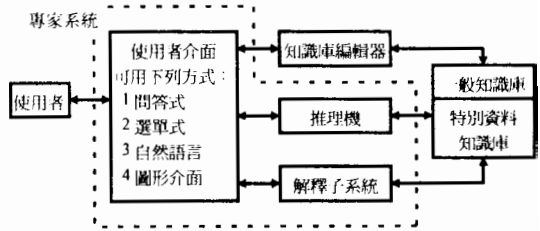


圖 5. 典型專家系統架構 (Luger 1993)

3-3 不確定因子

在水文地質專家系統中由於必須處理許多機率的問題，必須另外設計對於不確定性的處理方式。然而，使用傳統貝氏定理(Bayes' theorem)有其限制。貝氏定理：

$$P(H_i | E) = \frac{P(E | H_i) * P(H_i)}{\sum_{k=1}^n (P(E | H_k) * P(H_k))} \dots\dots\dots (1)$$

$P(H_i | E)$ 為給予證據E時，假設H成立的機率
 $P(H_i)$ 總括來說， H_i 為真的機率

$P(E | H_i)$ 是當 H_i 為真時，證據E出現的機率

n為可能假設的數目

在使用貝氏定理來處理機率的問題時，主要有兩項假設：第一點，所有假設與證據關係的統計值都要為已知；第二點，所有的證據與假設的關係都要為獨立的。但是在實際上，通常這些關係的統計值都不容易求得，而且這些關係並非是完全獨立。除此之外，使用貝氏定理時，如果後來發現有新的關於證據和假設的關係，所有的機率關係都要重新設定。因此貝氏機率式很少應用在專家系統上。

3-3-1 可靠度

1.在水文地質專家系統中，對於不確定性，所採用的方式之一是Mycin專家系統(Buchanan and Shortliff 1984)中所使用的可靠度(Certainty Factor，簡稱CF)。可靠度的定義

爲：

$$CF(H, E) = MB(H, E) - MD(H, E) \dots (2)$$

其中 CF 是給予證據 E 得到假設 H 的可靠度

MB 是給予證據 E 時對假設 H 相信的程度 (信任度)

MD 是給予證據 E 時對假設 H 不相信的程度 (不信任度)

而 MB 及 MD 的數學表示式如下：

$$MB(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(H) = 1 \\ \frac{\max[P(H|E), P(H)] - P(H)}{\max[1, 0] - P(H)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$MD(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(H) = 0 \\ \frac{\min[P(H|E), P(H)] - P(H)}{\min[1, 0] - P(H)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$CF_{\text{combine}} = \begin{cases} CF_1 + CF_2(1 - CF_1) & \text{both } > 0 \\ \frac{CF_1 + CF_2}{1 - \min(|CF_1|, |CF_2|)} & \text{one } < 0 \\ CF_1 + CF_2(1 + CF_1) & \text{both } < 0 \end{cases} \dots (5)$$

至於對於前題的「或」(or) 與「和」(and) 的處理方式爲：(假設 P1 與 P2 爲一規則的前題)

$$CF(P1 \text{ and } P2) = \min(CF(P1), CF(P2)) \dots (6)$$

$$CF(P1 \text{ or } P2) = \max(CF(P1), CF(P2))$$

下面是假設與可靠度、可信度與不可信度三者關係的簡示 (表 3)，及可靠度與一般專家給值傾向的關係 (表 4)。

表 3. CF、MB 與 MD 的特性

特性	數 值
範圍	$0 \leq MB \leq 1$ $0 \leq MD \leq 1$ $-1 \leq CF \leq 1$
假設爲真 $P(H E) = 1$	$MB = 1$ $MD = 0$ $CF = 1$
假設爲非 $P(H' E) = 1$	$MB = 0$ $MD = 1$ $CF = -1$
1. 缺乏證據 $P(H E) = P(H)$	$MB = 0$ $MD = 0$ $CF = 0$

此，將採用模糊理論中的 S 函數與 Π 函數來處理。

S 函數與 Π 函數是模糊集 (Fuzzy Sets) 中常用來做爲成員函數 (Membership Function) 的數學函數，其定義如下：

$$S(x; \alpha, \beta, \gamma) = \begin{cases} 0 & \text{for } x \leq \alpha \\ 2 \left\{ \frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right\}^2 & \text{for } \alpha \leq x \leq \beta \\ 1 - 2 \left\{ \frac{x - \alpha}{\gamma - \alpha} \right\}^2 & \text{for } \beta \leq x \leq \gamma \\ 1 & \text{for } x \geq \gamma \end{cases} \dots (7)$$

$$\Pi(x; \beta, \gamma) = \begin{cases} S(x; \gamma - \beta, \gamma - \beta/2, \gamma) & \text{for } x \leq \gamma \\ 1 - S(x; \gamma, \gamma + \beta/2, \gamma + \beta) & \text{for } x \geq \gamma \end{cases} \dots (8)$$

表 4. CF 值的量與質對照表 (Loh, 1992)

+1.00	絕對的	
+0.75	強烈的	
+0.50	普通的	偏向贊成
+0.25	輕微的	
0	沒有結論	
-0.25	輕微的	
-0.50	普通的	偏向反對
-0.75	強烈的	
-1.00	絕對的	

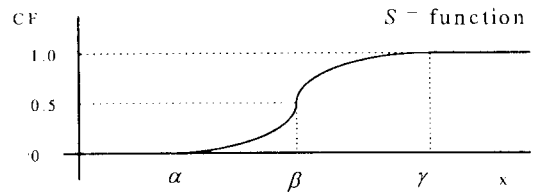


圖 6. S 函數

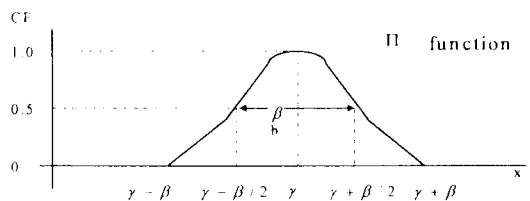


圖 7. Π 函數

3-4 推理規則

在水文地質專家系統中，主要是由三種資料來判別其地層相關性，這些資料分別爲：

- 地質鑽探及岩心記錄：本系統中所使用的

資料是由臺灣地區地下水觀測網第一期八十一至八十三年度共完成水文地質鑽探及岩心記錄共五十三站(中央地質調查所, 1992a, 1992b, 1994a, 1994b, 1994c, 1995)資料分析而來, 目前系統共分析海園-東河潤面共七站鑽探站(表7)。

- 地球物理井調：地球物理井調包含伽瑪、地電阻率及自然電位三項之量測，根據評估結果顯示，其中電阻率為三項之最穩定可靠之資料(地質調查所, 1993)。本研究中的地電阻資料是由地調所所測得資料所得，使用的是64吋正長距電阻井調資料。
- 有孔蟲化石遺蹟：地層中古生物群集可以作地層對比的輔助，有孔蟲為海洋環境中遍佈之生物，由其生活方式可分為底棲及浮游兩種。而由岩層中所出現之有孔蟲出現與否、豐富度、種屬及浮游性有孔蟲之比例，可推測岩類沉積時之環境(劉平妹、黃奇瑜, 1993)。

系統內的規則為根據各地層中這三種資料訂出各種狀況的相關程度與其可靠度CF值。至於一般CF值的設定則是由下列方法取得：

- 理論得來：譬如構造相近則屬同一層序的機率很高，系統中這類的CF佔極少數。
- 專家提供：向專家詢問各種狀況時，他們的意見為何，或者由水文地質相關研究成果歸納得到。在此專家系統中，絕大多數的CF值都是由此方法得之。

以下是水文地質專家系統中各規則與CF值訂定的步驟與過程：

表 5. 專家系統中各規則與CF值訂定步驟

規則	訂定程序與方法
岩心資料	1. 向專家請教利用岩心資料作對比的步驟與程序 2. 詢問專家各步驟適用的規則 3. 詢問專家各規則意見與可靠度為何 4. 根據專家意見訂定CF值
地電阻資料	5. 1. 收集各地球物理井調相關論文與研究 6. 2. 根據研究結論設定規則與CF值 7. 3. 詢問專家意見並作修正
有孔蟲資料	8. 1. 收集各古生物與地層對比相關論文與研究 9. 2. 根據研究結論設定規則與CF值 10. 3. 詢問專家意見並作修正

至於專家系統中各種資料的用途與對結果的影響如下：

表 6. 各種資料的用途與影響

資料種類	主要的用途
岩心資料	岩性判斷主要依據，對岩性判斷影響很大。對比判斷主要資料，對層次判斷影響大。
地電阻資料	岩性判斷主要依據，對岩性判斷影響很大。對比判斷主要資料，對層次判斷影響普通。與岩心資料的比重大約一致。
有孔蟲化石資料	岩性判斷輔助資料，對岩性判斷影響小。對比判斷輔助資料，對層次判斷影響普通。重要性比前兩項小，對結果的影響小。

表 7. 系統中所使用鑽探井資料

縣市	站名	深度	鑽探方法	鑽探年度
雲林縣	東和	120 公尺	衝鑽	八十一年度
	虎尾	120 公尺	衝鑽	八十一年度
	虎溪	120 公尺	衝鑽	八十一年度
	芳草	130 公尺	衝鑽	八十一年度
	田洋	130 公尺	衝鑽	八十一年度
	安南	200 公尺	旋鑽	八十一年度
	海園	200 公尺	旋鑽	八十一年度

3-5 專家系統執行流程

專家系統的執行流程共可以分為下列步驟：

1. 將水文地質資料庫(Oracle Database)的資料轉為專家系統可用格式，這部份工作是由自行撰寫的程式所執行。
2. 專家系統將岩心資料以及地電阻資料，分隔成以每三十公分為單位的格點。岩心部份原始資料是以每十公分為單位，而地電阻是記錄深度每十二公分左右的地電阻值。因此專家系統以每三十公分為單位，可以包含三個岩心記錄，並平均三十公分範圍內的地電阻值，不但可以縮小處理資料量，也可以免除若是雙數記錄時，兩種資料各占一半時之取捨的困境。
3. 專家系統接著以專家規則，判斷每三十公分單位，是屬於近富水層岩類，或是近阻水層岩類。此判斷規則包括了深度位置規則(共四條)、地電阻規則(共七條)、岩心資料規則(共十三條，每一種岩性一條，加上無資料內容一條)、地電阻與岩心對比性(判斷資料可靠度)(共一條)、臨近上下格點屬性規則(共四條，為最後執行規則)與有孔蟲資料規則(共六條)。

- 4.分類之後，專家系統根據連續性與屬性密度規則，即相連的數格點中，佔某一種屬性（近富水層岩類或近阻水層岩類）的比例，連接成較大的分層機制。
- 5.然後，每一鑽探井的資料與下一個鑽探井的資料作比較，如果兩鑽探井中分別有某富水層位置接近（以模糊邏輯定義），即認為這兩層應屬同一層序，專家系統便將這兩層連線、相連。（此部份規則共五條）。
- 6.最後系統執行一條處理只有單一鑽探井時的推測規則，處理某些鑽探井，因為鑽探較深，造成沒有其它鑽探井可供對比的情形。

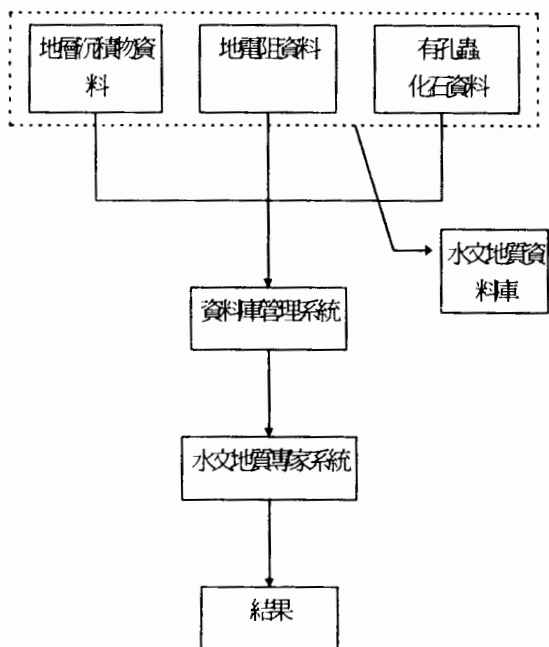


圖 8. 系統內資料的流程與架構

第四章 雲林地區之執行結果

4-1 研究區域概況水文地質資料

本研究區域於濁水溪以南，北港溪以北，位於濁水溪沖積扇南端。沖積扇的頂端主要是由礫石層組成，間雜砂層，礫石層厚度最大可到一百公尺以上，往海邊與沖積扇邊緣遞減，泥層與砂層則相對增加，到了扇緣靠海處，為砂、泥交錯層。

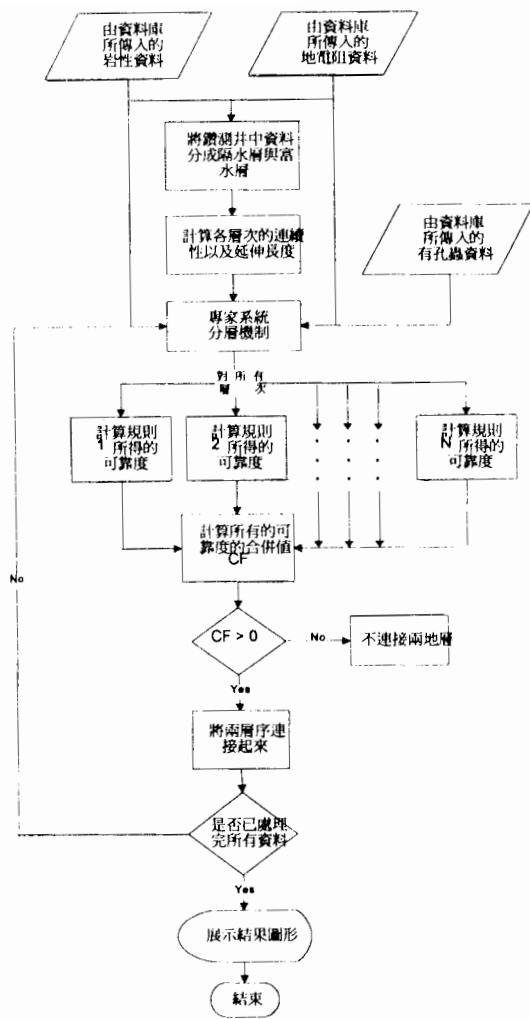


圖 9. 專家系統程式流程圖

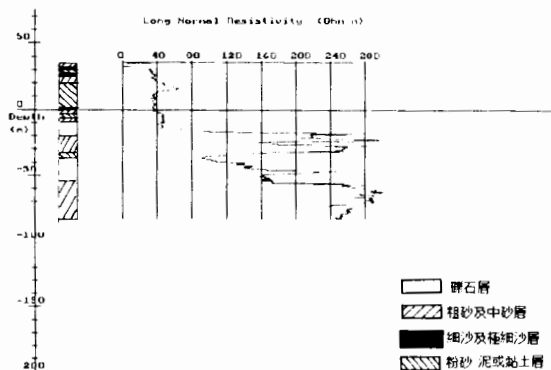


圖 10. 虎溪地層柱狀圖與電阻曲線

4-2 鑽測井之岩心資料與地電阻曲線

圖 10 是虎溪的岩心柱狀圖與電阻井測曲線。岩心顏色代表其沉積物種類，藍色代表礫石層，綠色代表粗砂及中砂層，黃色代表細砂及極細砂層，而棕色代表為粉砂、泥或粘土層。深度皆由平均海平面算起。

4-3 結果與討論

圖 11 至圖 16 是專家系統執行的結果，以下的圖形中，從左至右的七口鑽測井分別是海園、安南、田洋、芳草、虎尾、虎溪及東和站。圖 11 是由水文地質資料庫中取得的岩心資料，鑽探井柱狀圖右側是利用專家系統合併成較大的層次，專家系統將岩心剖面分成了幾個主要的層序，其分層的規則是依照延伸長度與連續程度而定。圖 12 是專家系統對富水層作對比的結果，相連的層序代表專家系統將這兩個層序視為同一層，將它們連起來。圖 13 是最後的分層結果。

由專家系統執行結果(圖 13)與經濟部中央地質調查所的水文地質剖面圖來作比較(圖 17)，結

果非常接近，專家系統共識別出三個主要的富水層與兩個主要的阻水層，與地質調查所的結果一致，主要的差異如下：

1. 專家系統的富水層一通過芳草，往西繼續延伸至田洋，而地質調查所的富水層只到芳草西方兩公里處，比專家系統的結果少四公里。
2. 海園站的富水層一厚度達 40 公尺，約為地質調查所判定的兩倍。
3. 專家系統的結果中，海園站的富水層三中夾一阻水層，但是在地質調查所的結果中，並沒有劃分出此一阻水層。

4-4 工作成果檢討

在本研究當中，有相當多的地方值得檢討改進，茲列於下，希望將來這個領域的研究者，能改善這些缺失。

1. 有些規則的設立，並沒有請教原研究人員，而是請教其他專家，所以在規則訂定上可能無法完全符合原意。

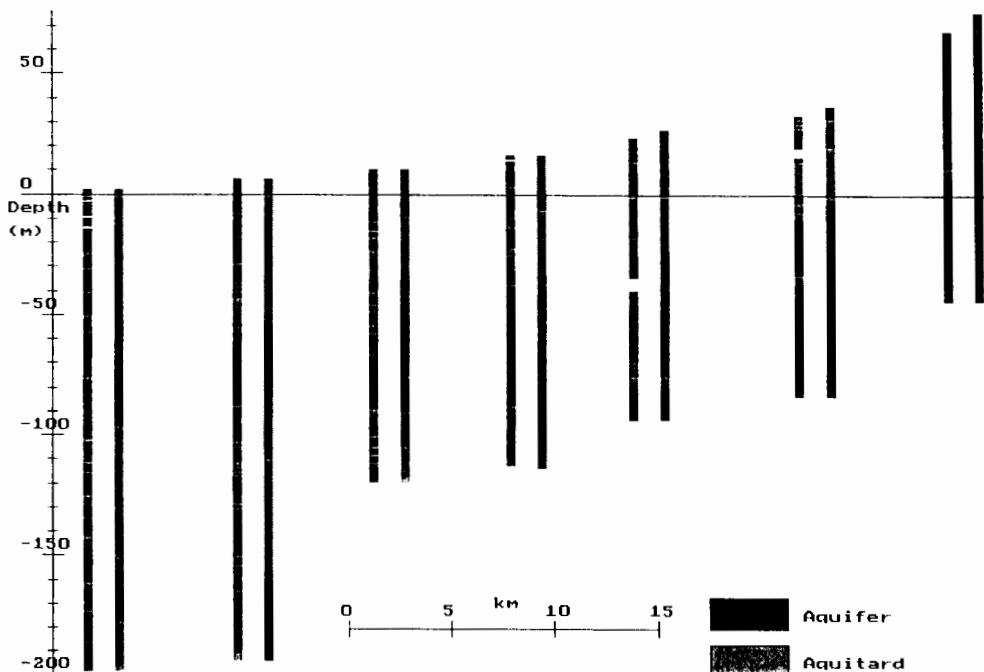


圖 11. 利用專家系統合併成較大的層序

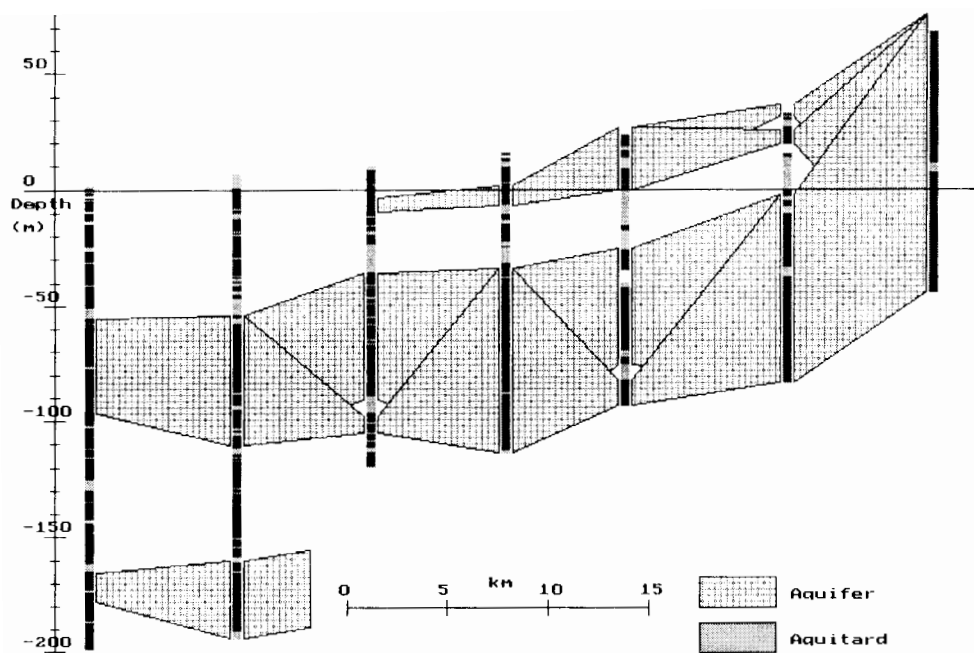


圖 12. 專家系統對富水層連線結果

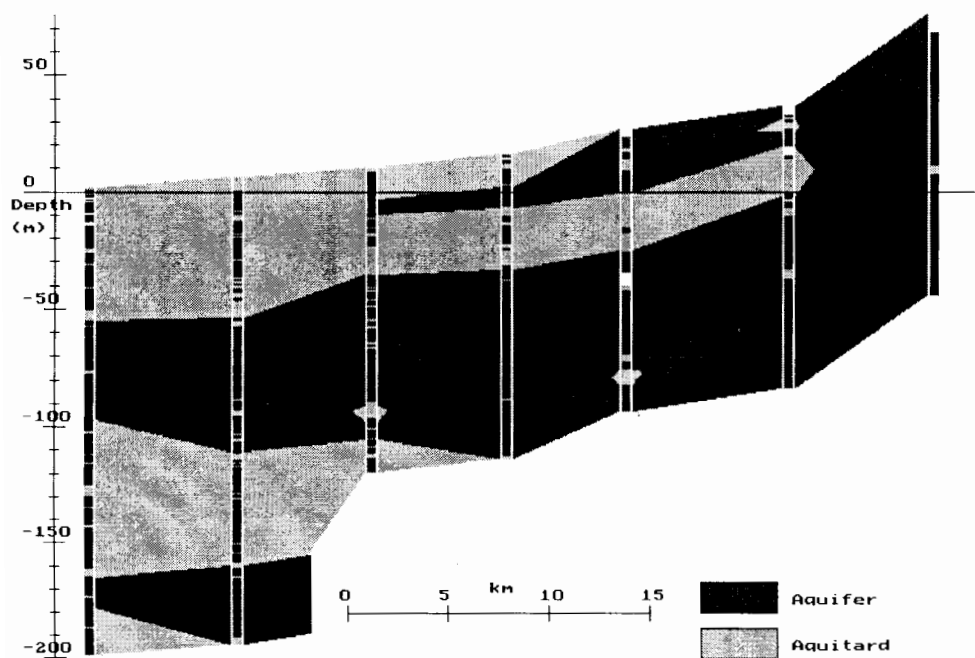


圖 13. 分層結果與鑽測井岩心資料對比

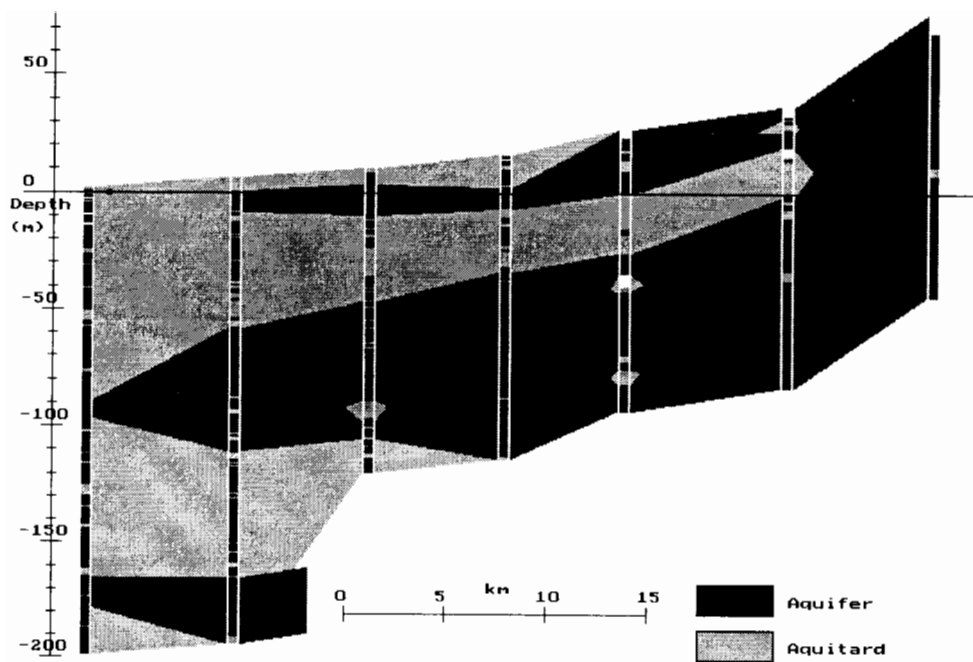


圖 14. 專家系統使用岩心資料所得結果

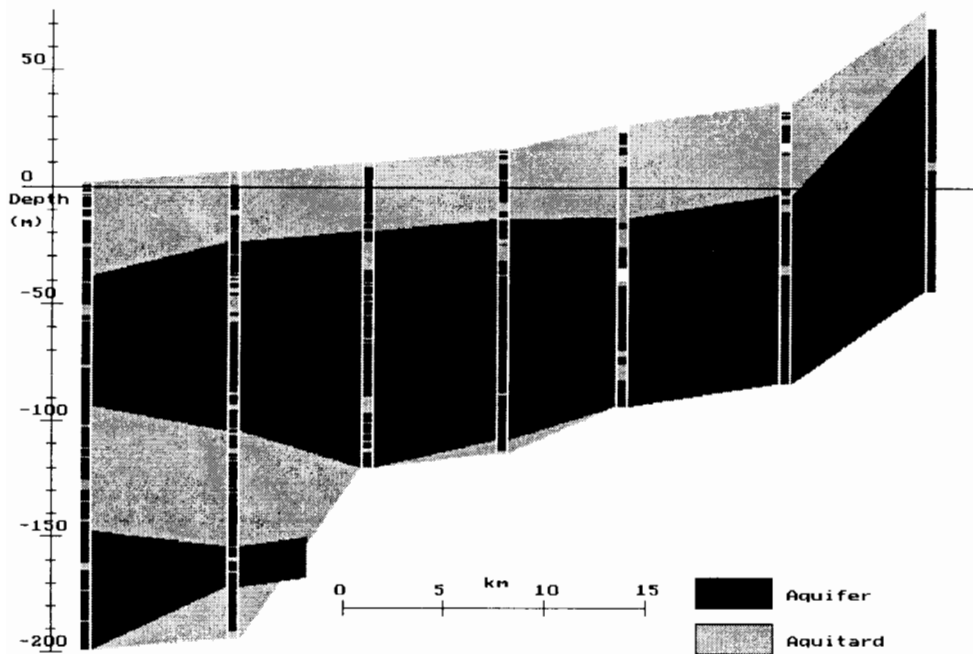


圖 15. 專家系統使用地電阻資料所得結果

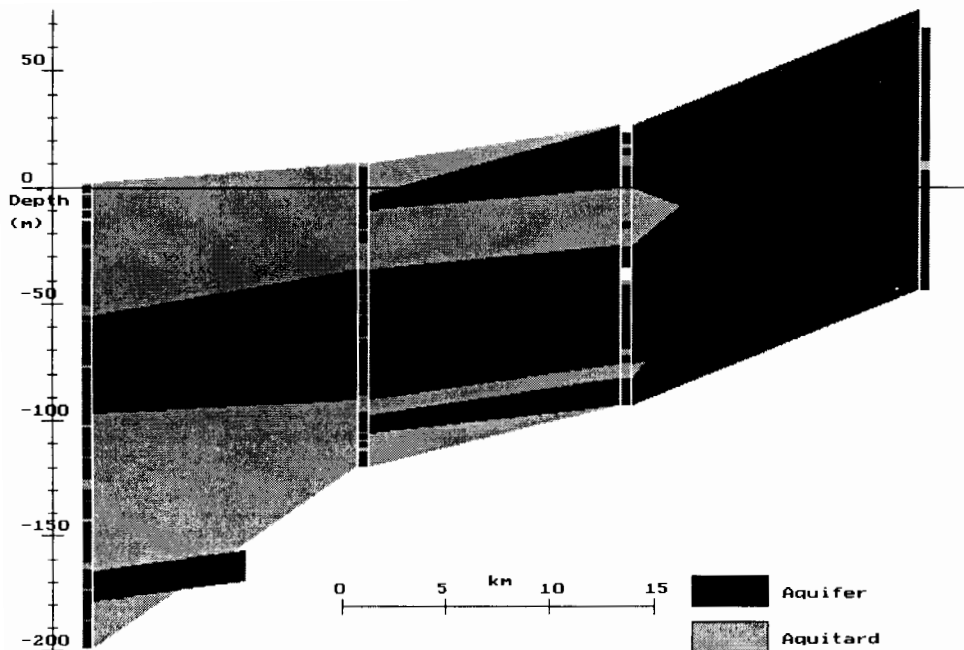


圖 16. 僅用海園、田洋、虎尾及東河站所得結果

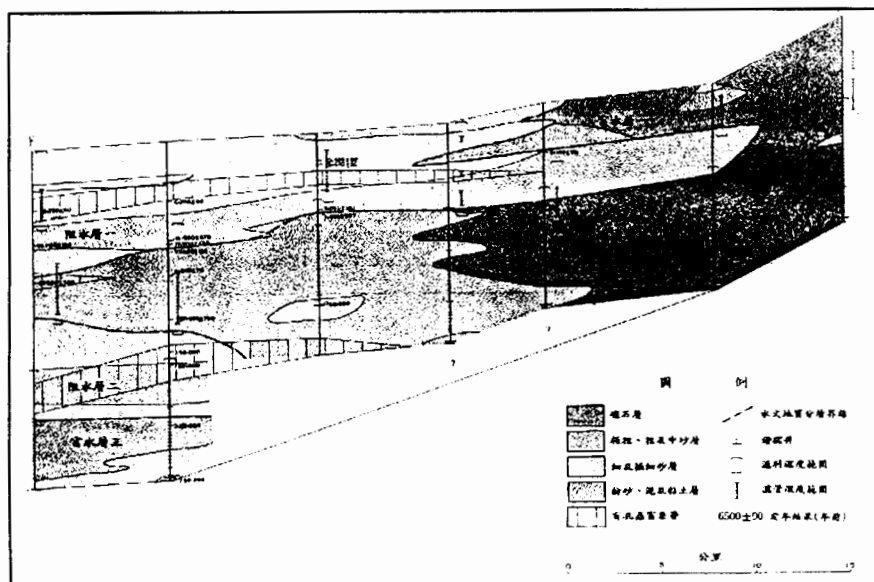


圖 17. 海園－東河水文地質剖面圖(經濟部中央地質調查所，1995)

2. 本研究資料來源是從水文地質資料庫中取得，然而水文地質資料庫中完整剖面資料，只有海園一東和剖面，造成雖然完成專家系統，但是只有一個剖面可以作驗證，過於薄弱。希望將來可以自別的來源取得資料，並數位化成電腦檔案格式，以利其他研究人員使用。
3. 本次專家系統的建立並沒有使用傳統的專家系統殼 (Expert System Shell)，而是自行發展，雖然較為快速、展示方便，但是造成後人繼續發展上的不便，限制以後發展速度。

第五章 結論與建議

5-1 結論

1. 以目前的結果來看，由專家系統所得到的結果與經濟部中央地質調查所結果非常接近，專家系統共識別出三個主要的富水層與兩個主要的阻水層，與地質調查所的結果相當符合，由結果可知，以專家系統應用於水文地質之結構分層研究，有相當好的效果。
2. 專家系統可應用於水文地質資料不足的地區，在進行對比的過程當中，並不一定要具備各種資料，只要用岩心資料或地電阻資料，也可以取得該區域的富水層與阻水層等大致的分層。
3. 由專家系統只應用岩心資料的結果以及只應用地電阻資料的結果比較來看，兩者之間的相關性很高；富水層的地電阻值較高，阻水層的地電阻值較低，因此結果很類似。
4. 目前專家系統使用岩心資料、地電阻等水文地質資料與有孔蟲化石資料作為判斷的規則，由結果可知，分層對比主要是以岩心資料為主，這與一般專家判斷的習慣相同。專家判斷的習慣是以岩心資料為主，岩心資料缺乏，或者地電阻值較突出時，才會應用地電阻資料。
5. 實際運用時，專家系統發展及應用在個人

電腦 (Pentium-100 電腦) 架構下，目的希望能具有一般性與普遍性，執行時間在兩秒鐘以內，與傳統判別方式比較起來快很多。而且其執行結果為唯一解，適合用於工程上的運用，也可以提供一般非專業人員快速的研判工具。

6. 由於專家系統的結果接近專家的判斷能力，而且判斷快速，可以很快獲得結果，因此將來在作分層對比時可以當作先期判斷工具，再由專家進行潤飾、修正的工作。

5-2 建議

1. 目前專家系統中的規則共有四十二條，主要都是應用岩心資料與地電阻資料所作的判斷，將來還要加上有關地電位、水質、水位變化、同位素定年、地下水文地質參數等判斷規則。一旦有新的研究結果出現，就可加入專家系統中，使其能盡量達到專家的能力。
2. 專家在作對比時，會和同一地區之其他剖面比較及修正，但是專家系統的對比僅限於某剖面上的對比，沒有各剖面間的修正，容易造成各剖面間結果不致，因此建議將來應加入其它剖面結果回饋修正功能。
3. 目前系統分析的方向都是以二維的地層對比為主，如果能取得沖積扇地區完整的水文地質資料，先求出數條剖面的剖面對比，另外再配合上空隙差值等方法，可發展出完整的三維地質架構模型。
4. 未來的趨勢為結合專家系統與其它系統 (如地理資訊系統、地下水模式等等)，共用資料庫與資源，如此達到事半功倍的效果。

謝 誌

感謝國科會經費資助 (NSC 85-2621-B-002-014)，此外感謝台大農業工程研究所劉振宇主任與林俊男教授及中興大學土木研究所蘇苗彬教授之修正意見，在此一併申謝。

參考文獻

1. 中央地質調查所, 「臺灣區地下水觀測網第一期綱要八十一年度水文地質鑽探工程(甲)研究報告」, 共 70 頁(1992a)。
2. 中央地質調查所, 「臺灣區地下水觀測網第一期八十一年度計劃—水文地質鑽探工程(乙)」, 共 33 頁(1992b)。
3. 中央地質調查所, 「臺灣區地下水觀測網第一期綱要八十二年度水文地質鑽探工程(甲)研究報告」, 共 78 頁(1994a)。
4. 中央地質調查所, 「臺灣區地下水觀測網第一期八十二年度計劃—水文地質鑽探工程(乙)」, 第 0-1 至 7-48 頁(1994b)。
5. 中央地質調查所, 「臺灣區地下水觀測網第一期八十三年度計劃—水文地質鑽探工程(乙)」, 第 0-1 至 6-76 頁(1994c)。
6. 中央地質調查所, 「臺灣區地下水觀測網第一期綱要八十三年度水文地質鑽探工程(甲)研究報告, 附錄 C: 鑽探岩心記錄表」, 第 C-0-1 ~ C-15-22 頁(1995)。
7. 江崇榮, 「沖積層物質之水文地質分類方法研究, 大型地下水計劃研究報告」, 行政院國家科學委員會, 共 32 頁(1994a)。
8. 江崇榮, 「水文地質調查岩心沉積物記錄規範」, 中央地質調查所, 未發表(1994b)。
9. 洪榮聰, 「雲林地區水文地質架構及地下水流概念模型」, 碩士論文, 國立臺灣大學地質學研究所, 臺北(1994)。
10. 江崇榮、黃智昭、賴慈華、陳利貞、周素卿, 「濁水溪沖積扇水文地質調查研究報告」, 經濟部中央地質調查所(1995)。
11. 袁彼得、林泗濱、鄧屬予, 「臺灣區地下水觀測網第一期計畫, 水文地質調查研究及建檔八十一年度報告, 濁水溪沖積扇(-), 沉積物特性及分佈狀況研究」, 經濟部中央地質調查所, 第 1-1 ~ 5-4 頁(1993)。
12. 袁彼得、林泗濱、鄧屬予, 「臺灣區地下水觀測網第一期計畫, 水文地質調查研究及建檔八十二年度報告, 濁水溪沖積扇(Δ), 沉積物特性及分佈狀況研究」, 經濟部中央地質調查所, 第 154 頁(1994)。
13. 袁彼得、林泗濱、鄧屬予, 「臺灣區地下水觀測網第一期計畫, 水文地質調查研究及建檔八十三年度報告, 濁水溪沖積扇(-), 沉積物特性及分佈狀況研究」, 經濟部中央地質調查所(1995)。
14. 莫懿美, 「專家系統與動態調配在水庫蓄水操作之應用」, 國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文, 1990。
15. 張斐章、陳莉, 「專家系統及其在水資源經營之應用」, 臺灣水利, 第四十卷, 第三期, 第 34 ~ 44 頁(1992)。
16. 曹以松等, 「地下水」, 中國土木水利工程學會, 第 4-87 ~ 4-92 頁(1989)。
17. 曹以松等, 「濁水溪沖積扇地下水質調查研究」, 經濟部水資源統一規劃委員會(1993)。
18. 經濟部水資源統一規劃委員會, 「臺灣地區地下水資源」(1992)。
19. 董倫道、梁敬豪、楊潔豪、陳洲生, 「臺灣地區地下水觀測網第一期八十二年度計畫—地球物理探測及地層對比之應用」, 中央地質調查所, 共 216 頁(1994)。
20. 董倫道、梁敬豪、楊潔豪、陳洲生, 「臺灣地區地下水觀測網第二期八十三年度計畫—地球物理探測及地層對比之應用」, 中央地質調查所, 共 90 頁(1995)。
21. 廖一光, 「專家系統應用於灌溉用水之推估」, 碩士論文, 國立臺灣大學農業工程學研究所, 臺北, (1992)。
22. 賴慈華, 「濁水溪沖積平原南翼之晚第四紀地下地質」, 碩士論文, 國立臺灣大學地質學研究所, 臺北, (1995)。
23. Buchanan, B.G. and E. H. Shortliffe, "Rule Based Expert System", Reading Mass., Addison Wesley, 1984.
24. Dempster, "Upper and Lower Probabilities Induced by Multivalued Mappings", Annals of Math. Stat., 38, pp. 325-329, (1967).
25. Feigenbaum, "Knowledge Engineering in the 1980's" Dept. of Computer Science, Stanford University, Stanford CA (1982).
26. Giarratano, J. and G. Riley, "Expert System" Thompson Information, Belmont. (1993).

27. Keller, R., "Expert System Technology, Development and Application", Yourdon Press, (1987).
28. Loh, D. K. and E. J. Rykiel, Jr. "Integrated Resource Management Systems: Coupling Expert Systems with Data-Base Management and Geographic Information Systems", Environmental Management Vol. 16, No. 2, pp. 167 ~ 177(1992).

29. Luger, G. F. and W. A. Stubblefield, "Artificial Intelligence", Benjamin/Cummings Publishing. (1993).
30. Zadeh, L. A. "Fuzzy Sets", Information and Control, pp. 338-353, (1965).

收稿日期：民國 85 年 7 月 5 日

修正日期：民國 85 年 9 月 6 日

接受日期：民國 85 年 9 月 18 日

專營土木、水利、建築等工程

振 鳴 營 造 有 限 公 司

負責人：吳當榮

地 址：台北縣板橋市懷德街127巷11弄2號

電 話：(02)2531539 • 2525686

專營：承製裝集集共同引水計劃及攔河堰附屬設備
(水工機械)工程

中國鋼鐵結構股份有限公司

專營土木、水利、建築等工程

億 榮 營 造 有 限 公 司

地 址：雲林縣口湖鄉崙東村民生路18巷17號

電 話：(05)7991485