

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

低電阻油氣層鑑別之灰決策系統

Identification of Low Resistivity Hydrocarbon Zones by Grey Decision System

計畫編號：NSC 90-2211-E-041-018

執行期限：90年8月1日至91年7月31日

主持人：張峻彬 嘉南藥理學院 資訊管理系

一、中文摘要

本研究的主要目的是利用類神經網路及灰色理論等技術發展出一套輔助判定低電阻油氣層的灰決策系統。在此灰決策系統中，主要以井下電測資料為主要判定依據，其他可用的相關資料(岩石分析等)為輔助分析之用。灰決策系統所分析出的結果，將可降低人為解釋的結果所帶有的主觀性，並增加分析的速度與準確性，輔助判定低電阻油氣層。

在本研究中完成的工作包括：(1)各類資料的處理：主要是不合理資料點的移除，深度的校正，輸入參數的各類組合，特定資料的正規化，產生反轉曲線等處理，以提升後續分析的正確性；(2)灰關聯分析選擇與篩選資料：主要是針對可供評估低電阻油氣層的許多不同種類相關資料來加以挑選適於分析的資料種類；(3)類神經網路預測模式的建立；(4)由2及3中所建立的系統整合成灰決策系統；(5)現地資料之測試與灰決策系統的修正：利用已知地層岩性及油氣生產能力(低電阻油氣層)井的相關資料，做為灰決策系統的測試範例，由分析出的結果驗證、比較並修正灰決策系統。

關鍵詞：灰關聯分析；類神經網路；灰決策系統；井下電測分析；低電阻油氣層

Abstract

The purpose of this study is to develop a grey decision system combined with grey relation and neural network for analyzing well logging and related data to identify the producing ability of low resistivity hydrocarbon zones. The main data used in this grey decision system is well logging data and the other related data (the description of cuttings and cores) is used to strengthen our analysis. The result from the grey decision system can reduce the subjectivity of human being and improve the speed and accuracy of analysis.

The main works of this study include: (1) detecting and removing the anomalous data, adjusting the relative depth of different kinds of data to a unique depth by assign a specific well log as basis, making some extra inputs, normalizing data, generating some reserve data curve; (2) choosing and screening

different type of data by grey relation analysis; (3) constructing a back-propagation neural network model, (4) integrating two sub-systems into a grey decision system; (5) revising and validating the grey decision system. In the final work, the well logging and related data from the wells with known lithology and producing ability are used to test the grey decision system. After testing and certifying its reliability, the grey decision system can be used to analyze the well logging and related data from another well and to identify the lithology and to estimate producing ability.

Keywords: Grey Relation; Neural Network; Grey Decision System; Well logging Analysis; Low Resistivity Hydrocarbon Zones

二、背景

石油與地下水工程的應用及研究中，常用井下電測(well logging)依據地層的深度連續地取得各類特性資料來推算井孔附近的地層特性參數，以此方式取代昂貴的岩心取樣，因此井下電測是目前了解地層特性參數一重要工具。電測資料的分析在國外的石油界已行之有年了，在國內有關電測資料應用之研究亦甚多(羅仕榮等，1996；莊恭周及周定芳，1993，1996；周定芳等，1997)。在傳統的電測解釋之中，認為只有在高電阻率的孔隙砂層之中才可能是含有油氣的地層，但是有些文獻指出在低電阻砂層中亦有可能會含有油氣，造成這種狀況的因素可能有(1)含有頁岩或黏土礦物及等電性礦物如黃鐵礦等，(2)砂岩顆粒變小以致含有微細孔隙且充滿間隙水，(3)砂岩顆粒被更細小之石英、白雲石、方解石、綠泥石等包裹住，使砂岩變成富含大量間隙水並形成連續之良導體，(4)泥漿濾液深入地層中且超越儀器量測範圍，(5)砂頁岩為薄層且互層及，(6)其他量測上之原因(羅仕榮等，1996)。近年來的研究顯示，在世界各大產油區之不同類型的盆地、不同的地質年代、在砂頁岩及碳酸鹽系列等不同的地層中，均可能會有低電阻油氣層存在，在台灣亦有經試油氣或生產證實為低電阻之油氣層，如台西、八掌溪、新營、新竹、高雄外海等地區(羅仕榮等，1996)。低電阻油氣層對油氣生產並無直接關連，但對探勘、開發規劃則有極大關係，因為以傳統電測分析解釋，很容易忽略低電阻油氣層、進而導致放棄具有生產潛能之油氣層。

三、方法與原理

為了能夠有效地發現及鑑別低電阻油氣層之存在，整合電測資料、泥漿測錄及其他岩石/岩屑分析資料等各種可利用的資訊，以“電測整合解釋”之觀念(羅仕榮等, 1996)，詳細檢視所遇之每一可能含有油氣的地層是必要的。所謂“電測整合解釋”，亦即整合電測、泥漿測錄、壓力量測、地層傾斜電測及岩石分析(薄片、X光繞射、電子顯微鏡)等資料，綜合解釋各項油氣指徵及可能造成低電阻油氣層之原因，交叉驗證上述各項資料以找出可能的低電阻油氣層。由於在分析與解釋的過程之中，必須決定計算的參數(如砂、頁岩基線之數值，地層水電阻， a, m, n 參數之設定)及含水飽和度計算的模式，因此利用井下電測資料所解釋出的結果通常包含了分析者某種程度的主觀性。為了增加分析電測資料的速度與準確性，有許多的研究便利用專家系統(expert system: Startzman and Kuo, 1996)及類神經網路(neural network: Trappe et al., 1995; Mohagheh et al., 1994)輔助進行井下電測的分析。

在許多不同類型的類神經網路模式中，倒傳遞(back propagation)類神經網路是其中最具代表性、也是應用最廣的學習模式(底下所提到的文獻均是利用此模式)。在倒傳遞類神經網路中，對於所處理的資料間相關性(輸入值與目標輸出值間的關係)並不需要在分析之前就知道，因為類神經網路會透過訓練(training)的方式自動地找出資料點間的關係(Chester, 1993)，因此利用類神經網路去做評估低電阻油氣層的分析，尋找電測資料、地層相關資料與低電阻油氣層間的複雜相關性是一個相當合適的方式。目前利用類神經網路分析井下電測資料有幾個主要的應用：地層滲透率的估計(Wong, et al., 1998; Mohagheh et al., 1994);複雜異質性地層的分辨(White, et al., 1995; Mohagheh, et al., 1994);不同岩相的分辨(Zhou, et al., 1993)等。

一般在建立類神經網路的模式時，使用者常會將所有使用者認為與模式有關的全部參數加入類神經網路之中(Wong et al., 1998)，依此方式所建立的滲透率估計模式可能會有兩個主要的問題：

第一個問題是：

在類神經網路中，訓練所得到的結果是兩群資料間的相關性，所以當使用不適當的訓練資料，將可能會得到一個錯誤的相關性(估計模式)；或者是因為多了一些不相關(或關聯性低)的參數，雖然不致於得到錯誤的結果，但卻因參數太多了，而使類神經網路的整體的計算速率下降。為了能在選擇類神經網路的輸入參數之前，能將不適合(關聯性低)的資料種類去除掉，可以利用各輸入參數與目標輸出值間的關聯性大小，做為去除關聯性低的參數的依據，對於解決此類問題，灰色理論(grey system theory) (Deng Ju-Long, 1982)中的灰關聯分析(grey relation)是一相當合適於做這樣處理的工具。在灰關聯分析法中提供了分析離散序列間的相關程度

的一種測度方式。此分析中定義一個稱為灰關聯度的值來表示兩個序列間的關聯程度的高低(此數值介於0與1之間)。由灰關聯度可決定出所有序列的灰關聯序，根據灰關聯序可了解各序列與母序列間關聯程度的高低。此灰關聯序可應用於預先了解類神經網路中輸入值與目標輸出值間的關聯性大小，以便事先篩選出關聯度低的輸入參數值，供建模者參考，適當地去除不合適的參數，以便更加正確地建立類神經網路模式。

第二個問題是：

將所有可蒐集到的參數(電測資料)做為類神經網路的輸入值，其隱含的基本假設是所有蒐集到的電測資料便是決定地層特性的“所有”因素，也就是說

$$\text{地層特性} = f(\text{所有蒐集到的電測})$$

但是實際的地層特性函數可能是

$$\text{地層特性} = f(\text{所有蒐集到的電測, 其他未蒐集到的因素})$$

因此在缺少其他未蒐集到的因素的狀況之下，所建立之類神經網路預測出來的結果可能會不盡理想，因此在沒辦法獲得“其他未蒐集到的因素”的狀況之下，可將類神經網路結合專家處理與判斷電測資料的經驗法則，亦即是結合專家系統(Giarratano and Riley, 1989)，以便能得到更加準確的地層特性預測值。專家系統不只能用於輔助電測資料的判斷，也能用於輔助以泥漿測錄、壓力量測、地層傾斜電測及岩石分析(薄片、X光繞射、電子顯微鏡)等等資料，綜合解釋各項油氣指徵及可能造成低電阻油氣層之原因。

四、進行步驟

在本研究中有五大重點主題：(1)各類資料的處理：主要是不合理資料點的移除，深度的校正，輸入參數的各類組合，特定資料的正規化，產生反轉曲線等處理，以提升後續分析的正確性；(2)灰關聯分析選擇與篩選資料：主要是針對可供評估低電阻油氣層的許多不同種類相關資料來加以選擇適於分析的資料種類；(3)類神經網路預測模式的建立；(4)由2及3中所建立的系統整合成灰決策系統；(5)現地資料之測試與灰決策系統的修正。(圖-1為研究進行概略流程圖)：

在本文中用於做範例的油氣井是位於八掌溪地區的一口曾完井生產的井，此區域的主要儲集層有八掌溪砂岩(木山層)、北寮層及觀音山砂岩，其他在石底層亦有井生產。由此地區的岩石薄片觀測分析、發現八掌溪地區地層中富含黃鐵礦，有些地區孔隙中具有被黃鐵礦包裹的石英顆粒，此特性會使電測電阻值極低，而令電測計算結果得到不具油氣生產潛力的結論而被忽略。因此在此區域具有油氣生產的油氣層有大部分均是屬於低電阻油氣層，而在本研究中發展的灰決策系統正是要輔助尋找這些不易用傳統方法辨識出的油氣層。

為了能驗證灰決策系統的正確性，在此將分析

井的資料區分為兩個部分，一部分將被應用於類神經網路預測模式的建立，一部分使用於灰決策系統的測試與驗證。用於模式建立的電測資料其深度介於2185-2260m，在此區域中深度介於2224-2230.5m之油氣測試層段，其電測電阻僅達2歐姆-米左右，油氣測試結果日產天然氣25000立方公尺，沒有油及水。用於測試與驗證的電測資料深度介於1840-1870m，在此區域中曾完井生產的區域其深度介於1850-1852.5m，其電測電阻也是於2歐姆-米左右，此區段於完井生產後共獲1.6百萬立方公尺的天然氣及少量原油。範例井中兩個具有油氣的層段，由於低電阻的特性(2歐姆-米左右)，所以均是低電阻油氣層。

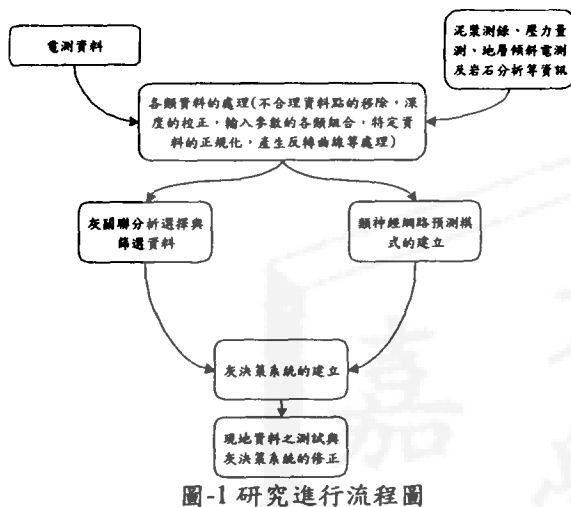


圖-1 研究進行流程圖

五、實例分析

在各類電測資料經過不合理資料點的移除，深度的校正之後，由於各類型的井下電測，是根據各種不同的地層特性與技術來蒐集地層的相關資訊，所以各類型電測所取得的資料本身所代表的物理意義是不相同的，而且各類電測資料的大小(scale)與範圍也不一定相同。正由於數值大小範圍的差異，若將數字等級相差懸殊的資料放在一起進行灰關聯分析，將會難以得到客觀正確的結果，因此為了能夠得到較客觀的分析結果，需要對原始數據進行處理。在本文中所用於做例子的井下電測種類共有6種(表-1)，這些資料在做灰關聯分析前均進行區間化處理，將數字化為介於0~1間的數值(圖-2為2185-2260m區間化後的電測資料，圖-3為1840-1870m區間化後的電測資料，圖-3中有些資料大於1及小於0，主要是因為使用了與圖-2相同的區間化標準)。

有文獻(張峻彬, 2001)提出電測反轉曲線的應用能提高以類神經網路分析電測資料的準確度，因此本研究也將針對各電測資料產生其相對應的反轉曲線，產生的方式是利用數值1減去區間化後的數值，而得到一組新的變化曲線。由於反轉曲線觀念的引入，可用於分析的電測曲線變成有12條，在灰關聯分析中利用一段已知低電阻油氣層位置的資料做為母序列(0表非低電阻油氣層，1表低電

阻油氣層)，以12條可供應用的電測資料為子序列可得出各電測資料與母序列間的灰關聯度與灰關聯序。經計算可得如表-2的結果，表中1-xxx所表示的意義是xxx電測資料的反轉曲線。

符號	意義
1GR	Gammy Ray
BHC	Sonic
CNL	Compensated Neutron
ILD	Deep Induction
ILM	Medium Induction
SFL	Spherically Focused

表-1 電測種類

灰關聯序	電測種類	灰關聯度
1	ILM	0.78465
2	ILD	0.78407
3	SFL	0.78345
4	BHC	0.64762
5	1GR	0.59025
6	1-CNL	0.58583
7	CNL	0.4922
8	1-1GR	0.47568
9	1-SFL	0.44293
10	1-ILM	0.4375
11	1-ILD	0.4372
12	1-BHC	0.42745

表-2 灰關聯序

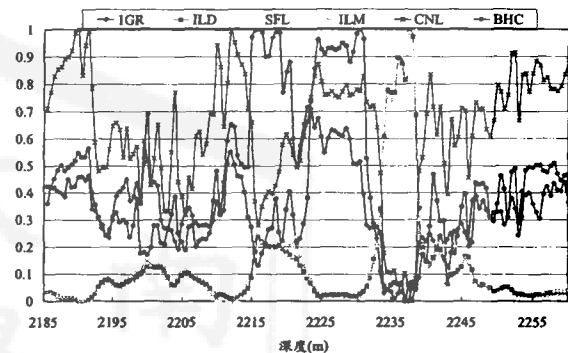


圖-2 為 2185 - 2260m 區間化後的電測資料

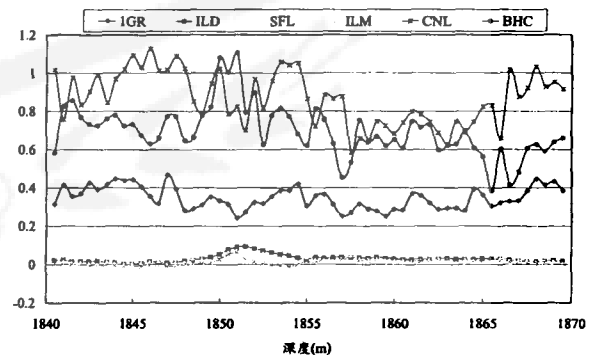


圖-3 為 1840 - 1870m 區間化後的電測資料

由灰關聯序可了解子序列與母序列間關聯性的大小排序，在本研究中即是利用灰關聯序的高低，輔助選擇較合適於模式建立與分析之用的電測種類。由張峻彬(2001)於其研究中提出，利用所有正反轉的電測曲線選取4組與母序列關聯度最高的資料序列，使用這4組序列的原始曲線資料做為主類神經網路預測的4個輸入值，剩下一個輸入值則為組合因子(利用於灰關聯分析中與母序列灰關聯度最高的第5個至第9個電測種類做為輸入值，而組合因子即為副神經網路的目標輸出值透過副類神經網路產生)，這5個輸入值所架構及訓練的類神經網路能獲得最佳的預測結果。因此本研究中採用類似的架構與作法來構建灰決策系統，組合因子的計算流程如圖-4，灰決策系統的系統概圖如圖-5。

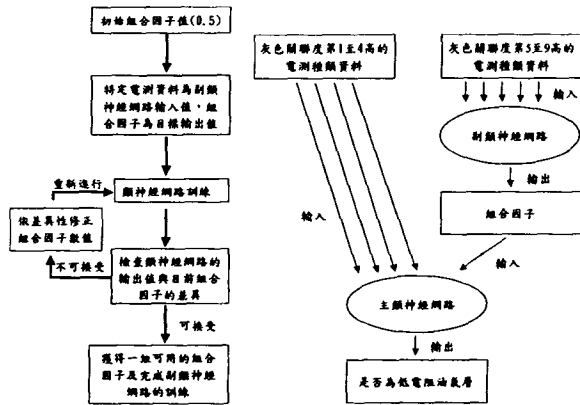


圖-4 組合因子計算流程

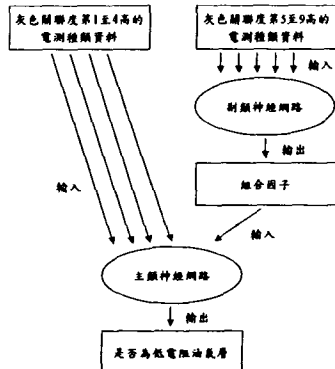


圖-5 系統概圖

根據前述的流程，可由深度介於 2185-2260m，12 條可供應用的電測資料中配合灰關聯分析挑選出應用於訓練主、副類神經網路的輸入值的電測資料種類。在完成系統的架構、訓練與整合後，接下來便是驗證與應用的階段，在這個階段將利用已設計好的灰決策系統去判斷深度介於 1840-1870m 可能出現的低電阻油氣層的位置。根據灰決策系統的分析結果(圖-6，數值 1 表低電阻油氣層，數值 0 表非低電阻油氣層)，可以發現最有可能(厚度最大)為低電阻油氣層的深度是介於 1849-1851m 的區域，此結果與真正穿孔生產的區域(1850-1852.5m)不謀而合，由此可證明由本研究所建立的灰決策系統是可以正確的輔助工程師判斷出低電阻油氣層的位置。而在決策系統中也發現另一段可能是低電阻油氣層的區段(1841-1842m)，不過這一段的厚度較薄，但是這個訊息可做為未來生產油氣時的參考。

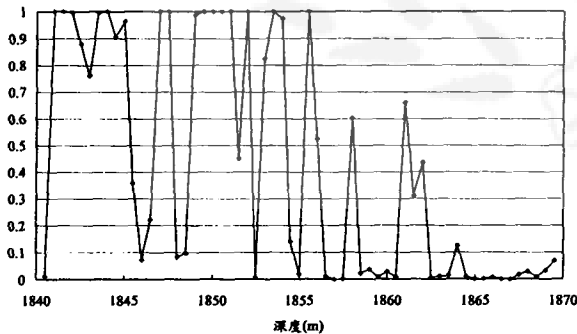


圖-6 低電阻油氣層分析結果

六、結論

低電阻油氣層對油氣生產並無直接關連，但對探勘、開發規劃則有極大關係，因為以傳統電測分析解釋，很容易忽略低電阻油氣層，進而導致放棄具有生產潛能之油氣層。而在本研究中做為範例的區域—八掌溪地區，地層中富含黃鐵礦，有些地區孔隙中具有被黃鐵礦包裹的石英顆粒，此特性會使電測電阻值極低，而令電測計算結果得到不具油氣生產潛力的結論而被忽略。因此能輔助工程師判斷低電阻油氣層位置的決策系統，將會對油氣的生產有相當大的幫助。

在本研究中成功地結合灰關聯分析及兩組類神經網路，建立了低電阻油氣層鑑別之灰決策系統。在此灰決策系統中有幾個重要的特性：

- (1) 自動地由各類不同的電測資料中，挑選出合適於分析的資料，進而判斷出低電阻油氣層的位置。
- (2) 鑑別出低電阻油氣層所需的金錢、時間與資料量較少。因為在可能是低電阻油氣層的區域需要蒐集大量的資料，譬如電測、泥漿測錄、壓力量測、地層傾斜電測及岩石分析(薄片、X 光繞射、電子顯微鏡)等資料，這些採樣及分析均需花費大量的時間與金錢，而本研究所建立灰決策系統只需應用易於獲得的電測資料即可判定低電阻油氣層的位置。
- (3) 整個分析過程中並不需使用者介入任何的判斷，如此可避免人為解釋的結果所帶有的主觀性，並增加分析的速度與準確性。

七、參考文獻

- [1] 羅仕榮、顧俊偉及周定芳，"低電阻油氣層之鑑別與評估"，中國石油公司探探研究所八十五年度研究報告，1996
- [2] 羅仕榮、顧俊偉、黃永瑞及賴師權，"電測整合解釋在低電阻油氣層探勘上之應用"，中油公司探探研究所八十五年度研究報告，1996
- [3] 莊恭周及周定芳，"成岩作用在油氣探勘上之應用—台南盆地地下構造"，探探研究彙報第十六期，中國石油公司，1993，PP 22-35
- [4] 莊恭周及周定芳，"台灣第三紀地層之油氣探勘研究—鐵砧山及其附近之儲集層研究"，中國石油公司探探研究所八十五年度研究報告，1996
- [5] 周定芳、吳銘志及鍾廣吉，"儲集層特性分析技術之建立與應用實例"，台灣石油地質第三十一期，台灣石油學會，1997，PP203-232
- [6] 張峻彬，"灰關聯分析與類神經網路輔助電測資料分析"，石油季刊，2001 六月，33-43
- [7] Chester, M., Neural Networks: A Tutorial, PTR Prentice Hall, New Jersey, 1993
- [8] Deng Ju-Long, "Control Problems of Grey System," System & Control Letters, vol.1, no.5, 288-295, 1982
- [9] Giarratano, J. and Riley, G., Expert System, Pws-Kent, USA, 1989
- [10] Mohaghegh, S. et al., "Design and Development of an Artificial Neural Network for Estimation of Formation Permeability," Petroleum Computer Conference 1994, SPE, Richardson, TX, USA, 147-154 SPE 28237
- [11] Mohaghegh, S. et al., "A Method Approach for Reservoir Heterogeneity Characterization Using Artificial Neural Networks," Annual Technical Conference & Exhibition 1994, SPE, SPE 28394
- [12] Startzman, R. A. and Kuo, T. B., "Rule-Based System for Well log Correlation," Expert Systems in Engineering Applications SPE Reprint Series n.41 1996 120-128
- [13] Trappe, H., Kraft, T. and Schweitzer, C., "Neural Network for Permeability Determination in Rotliegend Sandstone," Erdol Erdgas Kohle v.111, n.4 (April 1995) 159-162
- [14] White, A. C. et al., "The Application of ANN for Zone Identification in a Complex Reservoir," Eastern Regional Conference & Exhibition 1995, SPE, SPE 30977
- [15] Wong, P. M., Henderson, D. J. and Brooks, L. J., "Permeability Determination Using Neural Networks in the Ravva Field, Offshore India," SPE RE, (April 1998) 99-104
- [16] Zhou, C. D., Wu, Xi-Ling and Cheng, Ju-An, "Determining Reservoir Properties in Reservoir Studies Using a Fuzzy Neural Network," Annual Technical Conference & Exhibition 1993, SPE, SPE 26430