

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

針對已開發油氣礦區強化生產與蘊藏量估算之研究 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 95-2116-M-041-002-
執行期間：95年08月01日至96年07月31日
執行單位：嘉南藥理科技大學資訊管理系

計畫主持人：張峻彬

計畫參與人員：大學生-兼任助理：謝顯孟、徐立德

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 96 年 10 月 02 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
☐ 期中進度報告

針對已開發油氣礦區強化生產與蘊藏量估算之研究

A Research to Enhance the Accuracy of Production and Reserves Estimation
for Developed Oil/Gas Field

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 95-2116-M-041-002-

執行期間：95 年 08 月 01 日至 96 年 07 月 31 日

計畫主持人：張峻彬

共同主持人：

計畫參與人員：謝顯孟、徐立德

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- ☐ 赴國外出差或研習心得報告一份
- ☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- ☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- ☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

執行單位：嘉南藥理科技大學

中 華 民 國 96 年 7 月 31 日

中文摘要

本研究的目的是要針對已開發油氣礦區的生產歷史資料，強化生產衰減預測與蘊藏量估算的準確度。計畫中以典型曲線進行自動最佳化擬合，以確保只有具有特定衰減趨勢的生產資料被應用於生產預測之中，為了符合衰減曲線分析的基本假設，針對已具有某特定衰減趨勢的生產資料，移除各類因素(例如：季節因素、循環因素等)對生產狀況所造成的影響，以儘量回復出不受外界影響之下的生產資料，最後再進行生產衰減曲線分析，以強化所得到生產趨勢的正確性，提昇產率預測與蘊藏量估算的準確度。

關鍵詞：生產衰減分析；典型曲線；蘊藏量估算

Abstract

The focus of this study will put on the history data of developed oil/gas field, and the main purpose is: enhancing the accuracy of oil/gas producing prediction and reserves estimation. The improvements in the producing prediction process are as following. The auto type curves match system will be built to ensure only the data with a specific decline trend used in analysis system. To agree with assumption of production decline curve analysis, the influences cause by some uncontrolled factors will be remove from production data.

Keywords: Production Decline Analysis; Type Curves; Reserves Estimation

前言

在現今的能源之中，石油資源仍扮演著極重要的角色，世界各國為了尋求穩定的能源供應，無不致力於探勘新的油氣田。不過由於石油的探勘開發作業為一高風險、高成本、需長期投資的活動，因此許多投資者都轉向由已開發且正在生產中的油氣礦區中尋

求具有投資利益的礦區。不管是投資、標購油氣礦區，或者是進行油氣田生產規劃設計之中，都必須估計礦區的未來產率與蘊藏量(reserves)，以做為標購(或出售)及生產開發決策的重要指標。因此一個能正確地進行生產預測與蘊藏量估算的評估決策輔助系統對投資者是相當重要的。(Chang and Lin, 1999)

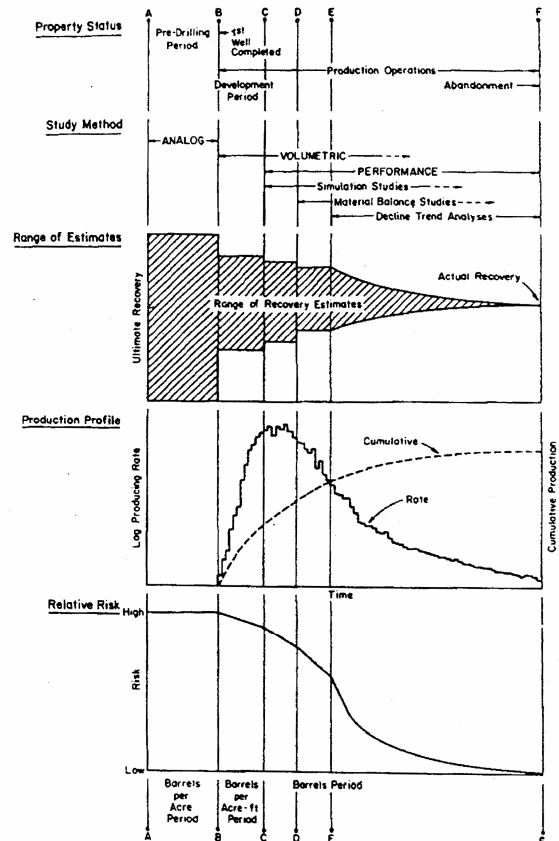


圖-1 不同生產時期中所適用的評估方法
(Garb, 1985)

文獻探討

蘊藏量對於油氣礦區而言，指的是依目前的技術、相關的價格條件之下，可以經濟採收的油氣量。其他不可經濟採收的部份，則被稱為資源(resource)，這些目前不可經濟採收的部份，日後可能因為開採技術的進步或者油氣價格的提高而變得可以採收，此部份的資源將可以變化為蘊藏量(Caldwell and Heather, 1991)。在估計蘊藏量時，由於評估的方法不同，可能會採用各類的地質資料、工程資料等，根據資料的多寡以及資料中所包含的不確定性，蘊藏量尚可區分為証實蘊藏量(proved reserves)及未証實蘊藏量(unproved

reserves)，而未証實蘊藏量又可再細分為可信蘊藏量 (probable reserves) 和可能蘊藏量 (possible reserves)(SPE/WPC,1996)

蘊藏量的估計方法主要可分為三大類：(1)類比法(analogy)，(2)體積法(volumetric)與(3)動態分析技術(performance techniques)。在動態分析技術中又可區分為模擬分析 (Simulation Studies)，質量平衡計算 (material-balance calculations)以及衰減趨勢分析(decline trend analysis)(Garb,1985)。各類型的方法有其應用的時間點(圖-1)，對於一個生產已經開始衰減且漸漸出現固定衰減趨勢的已開發油氣田，可使用生產衰減曲線分析 (production decline curve analysis；Arps,1945)。目前所使用的生產衰減曲線主要是根據 Arps 於 1945 年所提出的方程式來進行分析，一共可分為三種衰減類型，分別是指數型(exponential)、雙曲線型(hyperbolic)與調和型(harmonic)衰減，其產率隨時間變化的函數

$$q_t = q_i(1+bDt)^{-\frac{1}{b}} \quad \text{----- (1)}$$

$$q_t = q_i e^{-Dt} \quad \text{----- (2)}$$

$$q_t = q_i (1 + bDt)^{-1} \quad \text{----- (3)}$$

上三式中，(1)式為雙曲線型，(2)式為指數型，(3)式為調和型衰減方程式，其中： q_i ：初始產率 q_t ：時間 t 時的產率 D ：衰減因子 b ：指數

由以上的數學式子可以明顯的看出，這三種生產衰減曲線最主要的差別是在於衰減因子與產率之間的關係。指數型衰減曲線的衰減因子與產率的大小無關，雙曲線型衰減曲線的衰減因子與產率的 b 次方成正比，且 b 介於 0 與 1 之間，而調和型衰減曲線的衰減因子與產率成正比關係。將式(1)積分可得如下的累積產量與時間的關係式

$$N_p = \frac{q_i}{(b-1)D} \left[\left(1 + bq_i t\right)^{\frac{b-1}{b}} - 1 \right] \quad \text{----- (4)}$$

將式(1)代入式(4)可得

$$N_p = \frac{q_i^b}{(1-b)D} \left(q_i^{1-b} - q_t^{1-b} \right) \quad \text{----- (5)}$$

又式(1)可化為無因次式

$$Dt = \frac{\left(\frac{q_i}{q_t}\right)^b - 1}{b} \quad \text{----- (6)}$$

將式(6)代入式(5)可得

$$\frac{N_p}{q_i t} = \left(\frac{b}{1-b}\right) \left[\frac{1 - (q_i / q_t)^{b-1}}{(q_i / q_t)^b - 1} \right] \quad \text{----- (7)}$$

式(4)、式(5)及式(7)均可用於估算至時間 t 時的累積產量，也可用於估算油氣礦區的蘊藏量(Gentry and McCray, 1978)。

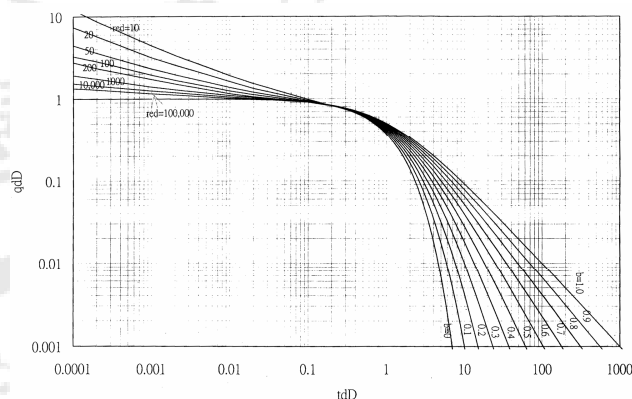


圖-2 Fetkovich 所發展出的典型曲線
(Fetkovich, 1980)

在生產衰減分析之中所使用的生產資料是位於圖-1 中 E 點之後的資料，也就是說生產量已開始衰減，且出現了固定的衰減趨勢，不過一般可由各種來源取得的生產資料可能是由圖-1 中 C 點或 D 點之後的資料，因此為了能正確的利用生產衰減分析進行產率的預測，必須能正確的找出 E 點。如何能正確的找出 E 點，可利用 Fetkovich(1980)所發展出的典型曲線(type curves)輔助找出正確具有固定衰減趨勢的生產資料。典型曲線是將各種參數的無因次衰減曲線產率($q_{dD}=q(t)/q_i$)與無因次的衰減曲線時間($t_{dD}=Dt$)繪製在雙

對數的座標圖上而得到的(圖-2)，由圖中可以看出在 $t_{dD} \leq 0.3$ 時所有曲線將合而為一，在應用上可將 $t_{dD} > 0.3$ 之後的生產資料視為具有固定衰減特性的資料。典型曲線擬合優於傳統衰減分析之處在於由擬合圖上可以分辨出資料是屬於暫態的資料或是屬於衰減的資料，以確定僅具衰減特性的生產資料做衰減分析(West and Cochrane, 1995)。

對生產衰減分析而言其主要的假設為在不受外界環境的影響之下，油氣田的生產率在達到最大的產率之後，產率將會漸漸地呈現出固定規則遞減的變化趨勢。所謂外界環境的影響指的是一些會造成產率變化的因素，例如油氣生產策略的改變、油氣生產設備的壽命、生產時的操作缺失、日常的設備維修或經濟環境的改變等等(Gentry and McCray, 1978)。實際上油氣在生產的時候，並沒有辦法避免掉外界環境的影響，因此生產資料一般都是會呈現波動起伏的狀況。也正由於油氣生產的時候包含了相當多的不確定性，有一些研究(Fetkovich, et al., 1996；張峻彬與林再興，1997；Chang and Lin, 1999；張峻彬，2000)便以機率的觀點，將不確定性(生產資料的波動性，即外界的影響)包含在分析模式之中。在這些研究中，其作法是把原生產資料利用生產衰減曲線去進行迴歸分析，在得到相對應的參數之後，利用生產資料與衰減曲線間殘差的統計性質進行機率性的估算。前述的作法的確可以有效的把不確定性包含入分析模式之中，但是卻會有一個基本的問題產生，那就是迴歸所得到的生產衰減曲線是不是就能代表油氣田真正的衰減趨勢，因為生產衰減曲線的假設是在“油氣的生產不受外界的影響”的狀況之下所呈現出的生產狀況，而前述的作法中均將受外界影響的資料性質納於生產衰減曲線分析之中，故迴歸出的結果是包含了受外界影響的生產衰減趨勢，而非真正油氣田的生產衰減趨勢。要怎樣由受到外界影響的生產資料中，去除各類的影響因素以便得到真正的生產衰減趨勢呢？在此時間序列分析(time series；

Yule, 1926)提供了一個可供解決的方向。

時間序列指的是某一變數在規律的時間間隔，如每年、每月、每週、每日等等之下的一連串觀察值，更正確的來說，是對某動態系統(dynamic system)隨時間連續觀察所產生有順序的觀測值集合(林茂文, 1992)。有一些方法可用於時間序列的資料分析之中，例如簡單移動平均法、加權移動平均法、指數平滑法及迴歸等(Hiller and Liberman, 2001)。移動平均法和指數平滑法適用於資料沒有明顯的向上或向下長期趨勢的靜態時間序列(stationary time series)，而迴歸法適用於具有某種向上或向下長期趨勢的非靜態時間序列(nonstationary time series)。根據時間序列的乘法模型(multiplicative model)時間序列可概分解成四個主要的因素：趨勢因素(trend component)、季節因素(seasonal component)、循環因素(cyclical component)與隨機因素(random component)。趨勢因素指的是資料具有長期、系統性的增加或減少的趨勢。季節因素指的是每年或固定週期重複一次的系統化模式。循環因素指的是資料具有系統性的上升和下降的趨勢，一般來說此因素和經濟環境或經濟循環有關。隨機因素指的是時間序列中不具系統性及任何趨勢的變化因素(Pelosi and Sandifer, 2002)。在時間序列的分析之中，對資料的處理方式主要是由資料中針對各種不同的因素將其對資料的影響移除，以還原資料原本應呈現的狀況，並針對比組還原的資料建立模式預測，最後再將預測值加上各類因素的影響，以獲得在受各類因素影響下的未來預測值。

研究目的

本研究的目的是要針對已開發油氣礦區的生產歷史資料，強化生產衰減預測與蘊藏量估算的準確度。計畫中以典型曲線進行自動最佳化擬合，以確保只有具有特定衰減趨勢的生產資料被應用於生產預測之中，為了符合衰減曲線分析的基本假設，針對已具有某特定衰減趨勢的生產資料，移除各類因素

(例如：季節因素、循環因素等)對生產狀況所造成的影響，以儘量回復出不受外界影響之下的生產資料，最後再進行生產衰減曲線分析，以強化所得到生產趨勢的正確性，提昇產率預測與蘊藏量估算的準確度。

研究方法

在強化生產衰減預測與蘊藏量估算的準確度方面，主要是針對已開發油氣田的歷史生產資料去區分那些資料屬於暫態的資料，那些資料是屬於已具有特定衰減特性的資料。對於具有特定衰減趨勢的生產資料，將對其進行去除各類影響因素的工作，以儘量還原出不受外界因素影響的生產資料，之後再進行趨勢分析。底下說明各階段所使用的方法與作法。

(1) 典型曲線擬合分析

在本階段主要是要區分歷史生產資料那一部分是屬於暫態的資料，以及那一部分是已經具有特定衰減性質的資料，以確定使用具有特定衰減特性的生產資料(圖-1 E點之後的資料)進行生產衰減分析。在此是利用 Fetkovich (1980)所發展出的典型曲線(type curves)來輔助找出具有固定衰減趨勢的生產資料，作法是將歷史生產資料的時間與產率取對數之後，以資料平移的方式與各種不同參數的典型曲線進行最佳化擬合，其目標 Z 為最小化平方差和。

$$Z = \sum_{i=1}^t ((q_s(t+x) + y) - q_v(t))^2 \quad (8)$$

其中：

$q_s(t)$ ：時間 t 時，取對數之後的產率值

$q_v(t)$ ：在特定參數下於時間 t 時，取對數之後的典型曲線值

x ：在無因次時間軸的平移量(可為正，亦可為負)

y ：在無因次產率軸的平移量(可為正，亦可為負)

在最佳擬合的過程將採用簡捷搜尋法(simplex search method, Reklaitis, et al., 1983)

進行最佳化參數的擬合。在得到最佳擬合的結果之後，將歷史生產資料中 $t_{dD} > 0.3$ 之後的生產資料取出，這些資料是已呈現出穩定衰減特性的資料，可應用於下一階段的分析。

(2) 上下包絡分析

為了能了解生產資料在每一時期生產動態的變化波動範圍，可對生產資料進行上下包絡分析(張峻彬, 2000)。在此所指的上下包絡線也均是生產衰減曲線，其產生的方式是使用最小方差法(least square method)搭配線性規畫(linear programming)中常被使用的大 M 法(big M method, Hillier and Liberman, 2001)來進行。舉例來說，求生產資料的上包絡線時，在累加方差時可再外加一個條件，就是檢查當生產資料值比目前的上包絡線大時，則將比資料點與目前的上包絡線之間的方差乘上一巨大的正值(M)，這個動作將會使整個累計的最小方差值變得很巨大，而強迫由最小方差法所找到的上包線一定會比生產資料為大，經過這樣的搜尋過程後將能得到適當的上包絡線。下包絡線的產生方式與上包絡線相同，只不過在使用大 M 法時，是在生產資料比目前的下包絡線小時，才將比資料點間的方差乘上一巨大的正值(M)。

(3) 包絡間數數值正規化

在本研究中希望能由包絡區間中生產資料的變化狀況來進行生產的循環因素分析，由於各月份的包絡區間大小並不相同，為了能有相同的比較標準，須對包絡間的數值進行正規化的動作，其作法如下式

第 i 點正規化值

$$= \frac{\text{第 } i \text{ 個生產資料值} - \text{第 } i \text{ 個下包絡線值}}{\text{第 } i \text{ 個上包絡線值} - \text{第 } i \text{ 個下包絡線值}} \quad (9)$$

(4) 循環因素分析

循環因素指的是資料會在某一段期間內(沒有特定的長短)具有系統性的上升與下降的趨勢。對於在前一個階段進行了正規化後所產生的正規化資料，可用於確認景氣循環變化曲線的轉折點(特徵點)，這些轉折點將被視為系統性上升或下降的起點或是終點，而

這些起點與終點可用以決定各變化趨勢中生產資料點應出現的理論數值，此理論數值可用來去除循環因素。假設在未受循環因素影響的狀況下，生產資料值應會出現在上下包絡線的中點，則去除循環因素後的生產資料值可以式(10)來表示。

$$\begin{aligned} \text{第 } i \text{ 個生產資料值} &= \text{第 } i \text{ 個下包絡線值} \\ &+ \frac{(\text{第 } i \text{ 個上包絡線值} - \text{下包絡線值}) \times 0.5 \times \text{第 } i \text{ 個正規化值}}{\text{第 } i \text{ 個理論數值}} \end{aligned} \quad \text{-----}(10)$$

(5) 季節因素分析

季節因素指的是每年(或固定週期)重複一次的系統化模式。將季節因素自時間序列中移除的步驟稱為除季節化(deseasonalizing)，在去除季節因素之後，不同期間資料的比較變得比較有意義，且有助於辨別是否有特定的趨勢存在。去除季節因素的步驟如下：

- (A) 定義時間架構(time frame)以便了解模式多久循環一次，在本研究中以一年為其時間架構。
- (B) 估計沒有季節因素存在時，各個觀察值的大小。在此採用兩段式移動平均(centered moving average)(Pelosi and Sandifer, 2002)，由於在(A)中定義每一年會重覆一次，所以以一年為單位進行第一次移動平均，此動作將會得到月與月中間的估計值(譬如 6.5 個月、7.5 個月的觀察值)，接下來再以兩個月為單位進行第二次移動平均以得到各個月份不含季節因素的估計值。附帶一提的是由於時間架構是以一年為單位(偶數個資料點)，才需進行兩段式移動平均，若是單位時間架構的資料點是奇數個的話，只需進行一次移動平均，因為中間點將會直接對應到時間序列的某一期。
- (C) 以每一個觀察值除以(B)中所得到的估計值，求出各月份純季節因素值(raw seasonality)。

- (D) 將所有同一月份的純季節因素值相加求平均，以得到各個月份的季節指數。此季節指數有時需進行修正，因為季節指數的平均值必須是 1，修正的方式是將各季節指數乘以季節的個數，再除以修正前季節指數的總和。
- (E) 將每個觀察值除以相對應月份的季節指數，以得到不含季節因素的觀察值。

(6) 趨勢因素分析

經過階段(2)-(5)處理後的生產資料已呈現出更接近於生產衰減曲線分析假設的變化狀況：“生產資料呈現平滑變化的曲線”，但是仍有些許的波動變化狀況，在此可利用式(1)做為生產資料變化的趨勢模式，以進行迴歸分佈，計算最佳化參數 q_i ， b 及 D ，如此便可得到生產衰減趨勢模式。不過在本研究中並不直接對生產資料進行迴歸分析(在上下包絡分析時也是)，因為直接以式(1)進行迴歸分析所得到最佳的生產曲線與真實生產資料間的殘差並不符合迴歸分析定義中殘差所應呈現出的常態分佈狀態，而是會出現隨時間的變化，殘差漸漸的變小的狀況，所呈現的機率分佈比較接近於指數分佈。因此在本研究中是先進行座標的轉換，也就是將式(1)取自然對數(ln)，以得到下式

$$\ln(qt) = \ln(q_i) - \left(\frac{1}{b}\right) \ln(1 + bDt) \quad \text{-----}(11)$$

而式(11)事實上是與如下的線性方程式是相同義意的

$$Y = A + BX \quad \text{-----}(12)$$

其中 $Y = \ln(q_t)$, $X = \ln(1 + bDt)$, $A = \ln(q_i)$, $B = -\frac{1}{b}$

利用式(11)進行迴歸分析，可得到最佳化的參數 q_i ， b ， D ，並且符合迴歸分析中殘差的分佈應是呈現常態分佈的狀況。

(7) 隨機因素分析

每個時間序列都會包含有隨機因素，如果沒有隨機因素，只要一旦掌握了其他因素，就可對未來進行完美地預測，不過這是不可能的，因為系統中總是有一些無法預測

的隨機波動，這些隨機變化既不具系統性也不能將之模式化，在本研究中此階段主要是利用階段(6)的生產衰減曲線與生產資料間的殘差，確定其機率分佈與相關參數，以便於最後的生產預測信賴區間估算之用。

由於在後續的分析之中會進行信賴區間的估算，為了維持後續分析的正確性，必須確定殘差的分佈是否真的近似常態分佈，所以必須有一個方法來評判常態模型的適當性，在本研究中使用常態分位數圖(normal quintile plot; Moore, et al., 2003),其作法如下所述：

- (A) 將觀測值由小而大排列，紀錄每個值在資料中是第幾個百分位。若有 100 個觀測值，最小的觀測值是位在 1% 處，第二小的是位在 2% 處，以此類推。
- (B) 進行常態分佈計算以獲得 z -分數的相同百分位數。例如 $z=-1.645$ 是標準常態分佈的 5% 位置，而 $z=-1.282$ 是 10% 位置。其中

$$z = \frac{x - m}{\sigma} \quad \text{-----}(13)$$

z ：標準化值(standardized value)或稱為 z -分數(Z-score)

- (C) 每一個觀測值對應 z 畫點，若資料分佈接近標準常態，畫出的點將接近 45 度直線($x=z$)，而若資料分佈系統性地偏離直線則表示並非常態分佈。
- (8) 生產預測與信賴區間

由階段(6)所提到的生產衰減曲線模式，可預測不含隨機、季節與循環因素未來任何一個月份的生產率。而要得到含各類因素的未來產率預測值，則需將生產衰減曲線所預測的產率值，加上隨機的殘差值(符合階段(7)的機率分佈)，將此數值乘以對應月份的季節指數以還原季節因素，最後再將循環因素依特定的模式加入預測值中以得到含各類影響因素的未來產率預測值。不過在實際的狀況中，並無法去產生未來循環因素的變化狀況，因為循環因素與經濟環境或經濟循環等

有關且週期的長度通常會改變，並沒有簡便的方式來預測未來的循環因素，因此在最後的生產預測之中並沒有重現循環因素與隨機因素，而是以信賴區間(confidence interval)來表現產率可能的變化範圍。對於式(12)中線性迴歸的未來 X_0 值其相對之 Y_0 的 $1-\alpha$ 的信賴區間 CI 為

$$CI = A + B X_0 \pm t_{\frac{\alpha}{2}(n-2)} \cdot s \cdot \left(1 + \frac{1}{n} + \frac{(X_0 - \bar{X})^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}\right)^{\frac{1}{2}} \quad \text{-----}(14)$$

其中

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - (A + B X_i))^2}{n - 2}$$

實例分析

在經過典型曲線擬合分析後取得 100 個已具有衰減趨勢的生產資料點(圖-3)，為了便於比較本研究的分析結果與傳統生產衰減曲線分析間的差異，將使用前 3/4 的資料點(75 點)來行建立模式與分析，後 1/4 的資料點(25 點)來進行結果的比較。

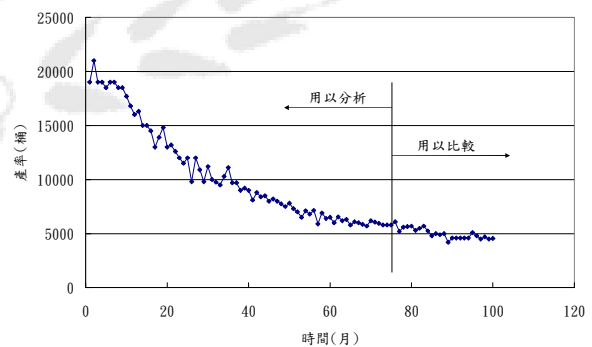


圖-3 已具有衰減趨勢的生產資料點

(1) 上下包絡分析

根據上下包絡分析的結果，上包絡線是曲線型衰減， $q_i=22572.35$ ， $b=0.3304$ ， $D=0.02286$ 。下包絡線也是雙曲線型衰減， $q_i=19693.03$ ， $D=0.8307$ ， $d=0.03634$

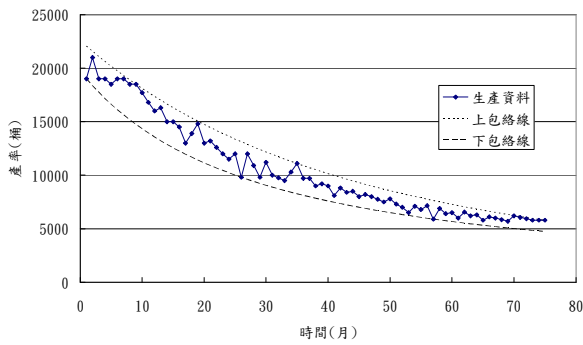


圖-4 上下包絡分析

(2) 包絡間數值正規化

根據式(9)可將包絡區間中的生產資料加以正規化，以得到正規化後的生產資料變化狀況(圖-5)。

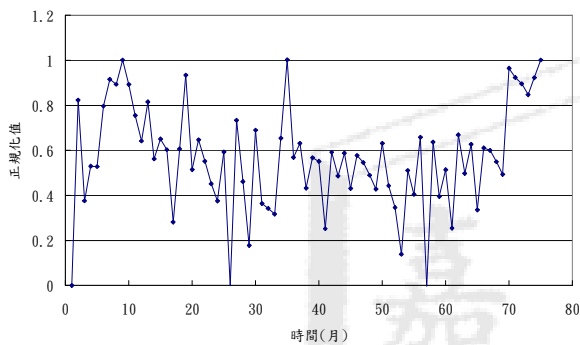


圖-5 包絡間數值正規化

(3) 循環因素分析

為了便於找出各變化趨勢的特徵點，將階段(2)所得到的資料進行移動平均(圖-6)，由移動平均可看出變化趨勢的特徵點(轉折點)有第 1, 9, 30, 36, 55, 75 月，確認了特徵點之後可以式(10)來求得不含循環因素的生產資料(圖-7)。由圖 7 中可觀察到第二點的資料與其他點的資料變化相比過於異常，因此在後續的分析中其值將以第一點與第三點的平均值來取代。

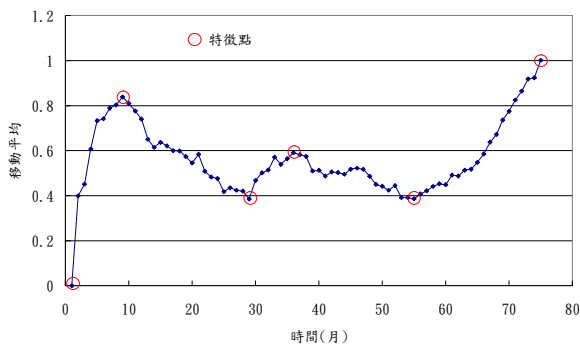


圖-6 資料移動平均

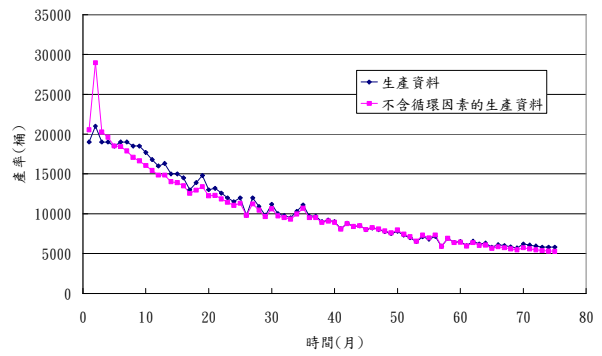


圖-7 不含循環因素的生產資料

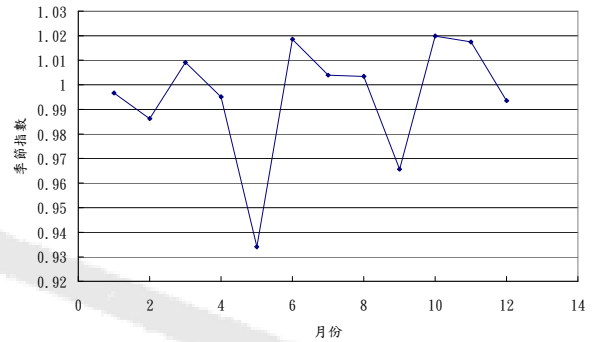


圖-8 各月份的季節指數

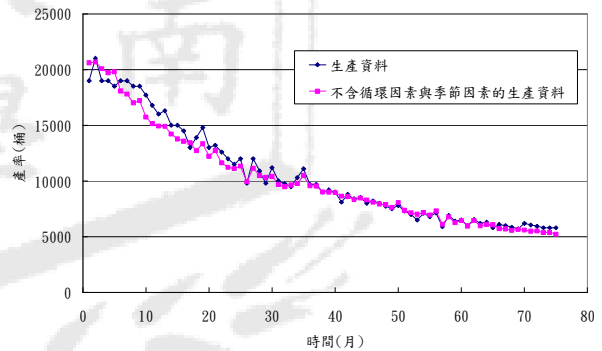


圖-9 不含季節因素的生產資料

(4) 季節因素分析

以一年重覆一次的時間架構來分析階段(3)不含循環因素的生產資料，可得其各月份的季節指數(圖-8)，以及不含季節因素的生產資料(圖-9)。

(5) 趨勢因素分析

由於隨機因素是無法直接得知去除的，所以在去除循環因素與季節因素之後，就進行趨勢因素分析，生產趨勢是以生產衰減曲線來進行分析，所得到的衰減曲線 $q_i=25027.48$, $b=1.1196$, $d=0.0551$ (圖-10)。

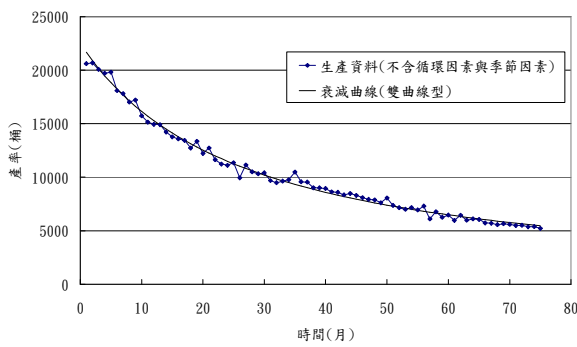


圖-10 衰減曲線

(6) 隨機因素分析

由生產資料與階段(5)中所得到的殘差，可確定隨機因素的機率分佈的相關參數(圖-11)。

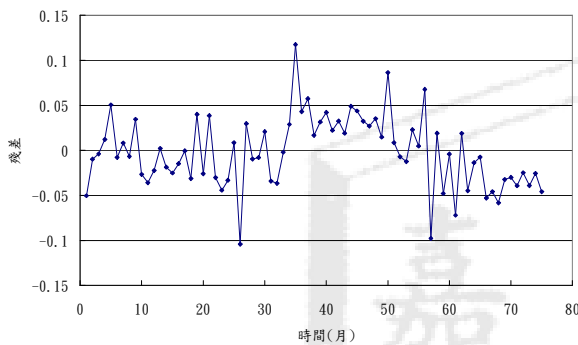


圖-11 殘差圖

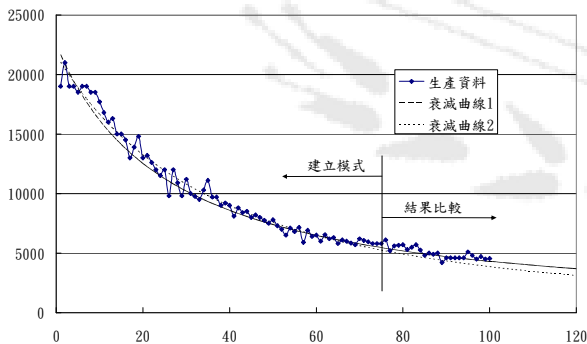


圖-12 生產預測

(7) 生產預測

由(5)中所得到的衰減曲線可用於預測未來每月的產率值，圖-12中衰減曲線1，即是步驟(5)中所得到的衰減曲線，而衰減曲線2是在沒有去除循環因素與季節因素下，直接由原始資料迴歸所得到的衰減曲線。圖-12中垂直線右邊的生產資料是用來驗證預測結果好壞的資料，可以很明顯的看出衰減曲線1能更正確的表現出未來的產率變化狀況。將步驟(5)所得到的衰減曲線加上季節因

素，並且利用式(15)算出預測值 90%的信賴區間(圖-13)，由圖中可以看出加上季節因素之後的預測產率能更準確的表現出來生產資料的波動變化狀況。

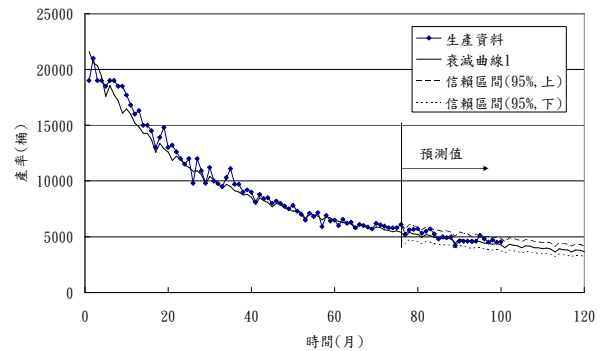


圖-13 具信賴區間的生產預測

結果討論

傳統的生產衰減曲線分析可由本文實例中的原始生產資料分析得到生產衰減曲線(圖-12，衰減曲線2)，而利用本文中的作法，將原始生產資料去除循環因素與季節因素之後再進行生產衰減分析可得到另一條生產衰減曲線(圖-12，衰減曲線1)，由兩種不同方式所獲得的衰減曲線那一個比較能適當的表達未來產率的變化動態，在此可利用平方誤差的平均值來加以評估，也就是一般稱為均方根誤差(mean squared error, MSE)的大小來比較預測結果的準確度(數值愈小愈佳)。

均方根誤差(MSE) = (觀測值 - 預測值)² / 總點數

在本實例中的觀測值指的是用以比較分析結果的生產資料(25點)，由傳統生產衰減曲線分析所得到的衰減曲線2，其與觀測值間的MSE=352178.2，而由本研究所提方法所得到的衰減曲線1，其與觀測值間的MSE=115647.8，比較兩個MSE值可以很明顯的看出本研究所得到的衰減曲線1比衰減曲線2能更適切表現未來產率的變化，事實上由圖-11可以很容易的看出以衰減曲線來呈現未來的生產動態是比較適切的，因為衰減曲線2的生產態勢已經很明顯的偏離真實的生產態勢了。事實上不只在實例中，在許

多的生產衰減資料的分析之中，由本研究所提方法所得到的衰減曲線均能比傳統的生產衰減曲線分析得到的衰減曲線更適切的呈現生產資料的真正生產動態。

本研究所提方法，除能得到類似傳統衰減分析的衰減曲線之外，更能透過季節因素的使用與信賴區間的估算以了解未來生產動態的波動變化狀況與範圍。圖-13 中的衰減曲線 1 是還原季節因素後的衰減曲線，可以看出此曲線除了表示出未來生產的生產趨勢，更能表現出未來生產量的真實波動變化狀況。在圖-13 中的衰減曲線，其與觀測值的 $MSE=104333.7$ ，比在圖-12 中所得到的衰減曲線 1.2 其 MSE 值更小，表示還原季節因素後的衰減曲線 1 能更正確的展現未來的生產動態。

由於無法動現未來的循環因素，在本研究中以信賴區間來展示未來產量的波動範圍。由圖-13 中可以看出除了第 76 個資料點略大於 95% 的信賴區間之外，其他的真實生產量均在 95% 的信賴區間波動，顯示本研究所產生的信賴區間能夠適切的描述生產資料的波動範圍。

參考文獻

- Arps, J. J., "Analysis of Decline Curves," Trans., AIME (1945) 228-247.
- Calwell R. H. and Heather D. I., "How to Evaluate Hard-to-Evaluate Reserves," Journal of Petroleum Technology (Aug. 1991) 998-1003.
- Chang, C. P. and Lin, Z. S., "Stochastic Analysis of Production Decline Data for Production Prediction and Reserves Estimation," Journal of Petroleum Science and Engineering, 23/3-4, (Dec, 1999), 149-160
- Fetkovich, M. J., "Decline Curve Analysis Using Type Curves," Journal of Petroleum Technology (June 1980) 1065-77.
- Fetkovich, M. J., et al. "Useful Concepts for Decline-Curve Forecasting, Reserve Estimation, and Analysis," SPE Reservoir Engineering (February, 1996) 13-22
- Garb, F. A., "Oil and Gas Reserves Classification, Estimation, and Evaluation," Journal of Petroleum Technology (March 1985) 373-390.
- Gentry, R. W. and McCray, A. W., "The Effect of Reservoir and Fluid Properties on Production Decline Curves," Journal of Petroleum Technology (Sept. 1978) 1327-41.
- Hiller and Lieberman, Introduction to Operation Research, McGraw Hill, 2001
- Moore, D.S., et al., The Practice of Business Statistics : Using Data For Decisions, H.W. Freeman and Company, 2003
- Reklaitis, G. V., Ravindran, A. and Ragsdell, K. M., Engineering Optimization Method and Application, A Wiley-Interscience Publication (1983).
- "SPE / WPC Draft Reserves Definitions", Journal of Petroleum Technology (August, 1996) 694-696.
- Pelosi and Sandifer, Doing Statistics for Business : Data, Inference, and Decision Making, John Wiley & Sons, 2002
- West S. L. and Cochrane, P. J. R., "Reserves Determination Using Type-Curve Matching and EMB Methods in the Medicine Hat Shallow Gas Field," Society of Petroleum Engineer Journal (May 1995) 82-87.
- Yule, G.U., "Why Do We Sometimes get Nonsense-Correlations Between Time Series? A Study in Sampling and the Nature of Series," J. Roy. Stat. Soc., 89, 1926, 1-69
- 林茂文，時間數列分析與預測，華泰，1992
- 張峻彬與林再興，"石油蘊藏量估計--機率性生產衰減曲線分析"，礦冶，八十六年三月，66-77
- 張峻彬，"油氣生產之灰色生產動態分析"，

計畫成果自評

原本計畫規劃為兩年期的計畫，但後來只通過一年，因此在完成的研究內容僅依原計畫第一年預定達成的目標來完成，各項目均有達成。研究成果再加以進一步修改應可發表於國內學術期刊之上。



可供推廣之研發成果資料表

☒ 可申請專利

☒ 可技術移轉

日期：96 年 07 月 31 日

國科會補助計畫	計畫名稱：針對已開發油氣礦區強化生產與蘊藏量估算之研究 計畫主持人：張峻彬 計畫編號：學門領域：地球科學
技術/創作名稱	針對已開發油氣礦區強化生產與蘊藏量估算
發明人/創作人	張峻彬
技術說明	中文： 針對已開發油氣礦區的生產歷史資料，強化生產衰減預測與蘊藏量估算的準確度。以典型曲線進行自動最佳化擬合，以確保只有具有特定衰減趨勢的生產資料被應用於生產預測之中，為了符合衰減曲線分析的基本假設，針對已具有某特定衰減趨勢的生產資料，移除各類因素(例如：季節因素、循環因素等)對生產狀況所造成的影響，以儘量回復出不受外界影響之下的生產資料，最後再進行生產衰減曲線分析，以強化所得到生產趨勢的正確性，提昇產率預測與蘊藏量估算的準確度。
	英文： The focus will put on the history data of developed oil/gas field, and the main purpose is: enhancing the accuracy of oil/gas producing prediction and reserves estimation. The improvements in the producing prediction process are as following. The auto type curves match system will be built to ensure only the data with a specific decline trend used in analysis system. To agree with assumption of production decline curve analysis, the influences cause by some uncontrolled factors will be remove from production data.
可利用之產業 及 可開發之產品	石油生產預測
技術特點	強化生產趨勢的正確性，提昇產率預測與蘊藏量估算的準確度
推廣及運用的價值	估計礦區的未來產率與蘊藏量(reserves)，以做為標購(或出售)及生產開發決策的重要指標