

應用灰預測於工程製程管制之研究

余豐榮 金 憲 李芸茜

大葉大學工業工程與科技管理系

彰化縣大村鄉山腳路 112 號

摘 要

在生產過程中，工程製程管制 (engineering process control, EPC) 是提升產品品質的主要工具之一。EPC 是假設在製程的輸入值與輸出值之間有一動態模型，當製程輸出偏移目標值時，可利用可控制變數來進行補償。此一連串調整可操縱變數，使製程輸出值維持於目標值中之動作亦稱為回饋控制。若此動態模型正確，則採用 EPC 製程調整將可使輸出值接近目標值並且將變異最小化。本研究利用灰預測及統計迴歸分析來建構 EPC 動態模型，並應用於預測製程輸出值及輸入與輸出間之關係，使製程輸出值維持於目標值上。最後，以模擬數值來說明此模型之運用，模擬結果顯示，所建構之模型具有良好的預測效果，在使用上頗具方便性與實用性。

關鍵詞：工程製程管制，灰預測，迴歸分析

A Study of Engineering Process Control Using Grey Prediction

FONG-JUNG YU, HSIANG CHIN and YUN-CHIEN LEE

*Department of Industrial Engineering and Technology Management, Da-Yeh University
112 Shan-Jiau Rd., Da-Tsuen, Changhua, Taiwan*

ABSTRACT

An engineering process control (EPC) is one of the most important tools for promoting product quality in the manufacturing process. EPC assumes that there is a specific dynamic model between the input and output processes, that there is a variable which can be adjusted to compensate for the drift in the output, and that a series of regular feedback adjustments to this manipulatable variable will keep the output focused on the desired target. If this dynamic model is accurate, then the EPC process adjustment will achieve the target value and minimize its variation.

In this study, a Grey prediction model and statistical regression analysis are employed to construct an EPC dynamic model. These methods are used to predict the characteristic value of an output process and the relationship between input and output, respectively. An example of numerical simulation is also used to demonstrate the functionality of the proposed EPC model with good effect.

Key Words: engineering process control, grey model, regression analysis

一、前言

統計製程管制 (statistic process control, SPC) 是製造現場中, 提升產品品質最實用的技巧之一。SPC 是先收集樣本資料的品質特性, 利用管制圖的技巧, 使作業員或工程人員持續獲得製程資訊, 以便監視這些品質數據是否處於可接受之狀態, 倘若產生異常, 則必須調整製程參數或排除掉導致品質變異之因素, 使製程回覆到管制狀態。

傳統的製程管制圖, 係假設品質量測彼此間相互獨立, 母體是常態分配; 然而在實際生產系統中, 數據間往往存在著相關性, 使得 SPC 管制圖的應用大打折扣 [17]。

工程製程管制 (engineering process control, EPC) 是一種透過回饋 (feedback control) 的控制的方式, 利用製程中輸入與輸出間之關係, 藉由調整可控制的製程變數, 對系統提供補償或調節之功能, 使製程輸出值接近目標值, 以提升製程能力。EPC 管制法主要是針對製程內部自然性、無法經濟地消除干擾或數據間具有自我相關性之現象, 作為系統補償之對象 [17]。

由於 SPC 是針對製程可歸屬原因進行偵測, 對於製程是否仍維持在目標值上卻未得到足以了解的資訊。因此, 對製程中不可控因子所造成之影響 (如溫度、濃度、環境變異...等) 予以監控, 並藉由 EPC 之調整功能給予適當的補償, 讓製程中的輸出值與目標值差距變小, 可以降低製程變異、更進一步提升產品品質。

製程受可歸屬原因影響可能導致的干擾類型甚多, 如趨勢性 (trend change)、階梯式 (step change)、週期性 (periodicity)、系統性 (systematicness) 等干擾模式。本研究將範圍鎖定在一般常見的趨勢干擾與階梯干擾為研究對象, 所謂的趨勢干擾指的是製程從某個時間點開始逐漸的增加特定的移動量, 使得變動的輸出在整體看來有趨勢向上或向下降之樣式, 而階梯干擾則為製程從某個時間點瞬間移動了固定的偏移量, 使得往後之製程輸出值在其偏移之水準上下跳動 [17]。

自迴歸整合移動平均法 (autoregressive integrated and moving average analysis, 簡稱 ARIMA) 的分析技巧, 是以往最常被用來建構製程雜訊干擾的預測模式。在穩定狀態下的製程受到雜訊干擾時, 如能明確獲得下一時間點之雜訊, 即可針對可控制變因進行調整, 使下一時間點的輸出值能達到目標值。然而, 在實際製程中, 要取得下一時間

點之雜訊往往較為困難, 因此必須對雜訊進行預測。ARIMA 的分析技巧, 需針對多項參數進行估計, 其檢定模式之步驟亦較繁雜, 而灰色理論在建立其預測模式時, 並不需要許多歷史資料即可建立良好的預測模型, 且其計算方式並不繁複、困難, 因此, 有鑑於製程中資料收集之不易、參數估計困難...等。本研究利用統計迴歸模式建構一適合 EPC 管制下的增益值, 以灰預測來建構一製程雜訊干擾之預測模式, 並藉由預測模式與 EPC 相互應用, 偵測製程平均值偏移變化, 並做適當之調整, 使製程維持穩定狀態。

二、文獻探討

管制圖對於減低製程的變異性是相當有用的技術, 但對目標值附近變異的減低卻非最好的方法。Box 與 Kramer [14] 及 Box [13] 提出自動化製程控制 (automatic process control, 簡稱 APC) 的概念, 即現今所稱的工程製程管制。在連續生產型態的程序產業中, 常常藉由自動化的設備或儀器, 經由控制系統中回饋控制或適應控制的功能, 讓製程對偏移量進行補償性的調整, 令製程的輸出值能接近所預設的目標值。

在製程明確定義輸出與輸入所存在的模式關係下, EPC 的理論可建立在下面想法上: (1) 預測製程的下一個觀測值; (2) 可操作並影響製程產出的變數; (3) 瞭解操縱變數的影響使能夠決定調整動作。如此一來, 便可以在 t 時間點調整操縱變數, 使製程在 $t+1$ 時間時補償輸出值與目標值之差距 [17]。

以開車為例, EPC 可詮釋為: 目標盡可能保持在中心線上行駛, 司機可以很輕易看到前方的路線, 藉由控制方向盤來調整, 使汽車偏離中心線的誤差最小。因而中心線道即為目標值, 車子相對於中心線道的位置即為輸出變數, 而控制變數則是汽車之方向盤, 司機在瞭解輸入變數與輸出變數間的關係後, 就可輕而易舉的達到目標值 [17]。同理, 製程中的工作人員若能適時掌控製程輸入與輸出變數的關係, 便能適時給予調整, 讓製程變異達到最小。

EPC 的手法是假定一製程中, 製程在 t 時間點的輸出值是 y_t , 並期望輸出值 y_t 盡可能的接近目標值 T , 而製程存在一可控變數 x , 藉由調整可控變數 x , 以達到期望目

標。EPC 並未企圖去釐清影響製程的可歸屬原因，所以回饋—管制的架構只是對於製程的不適應提出反應，但對於根本原因卻未盡力消除，因此在執行回饋系統的同時也採用統計製程管制，透過 SPC 的偵測功能與 EPC 的調整功能可將兩者各自的缺點加以補足。

SPC 與 EPC 可加以整合，藉由此整合模式，不僅可以針對一般性原因進行補償，另一方面製程中可歸屬原因也能剔除，使品質變異達到最小化 [17]。Janakiram 與 Keats [16] 以混合性製程 (hybrid process) —連續性程序製程與間斷性零件製程之混合，驗證 EPC 與 SPC 整合下所獲得的良好績效。駱景堯等 [11] 在 SPC 與 EPC 整合下，探討現今所發展出的管制圖搭配 EPC 管制法的適用性，研究結果發現，採用累積分數和管制圖能大幅降低 EPC 控制的影響，故較適合運用於整合架構下。

時間序列是指一系列時間先後所產生的觀測值之集合，及動態系統隨時間連續觀察觀測值之集合。當時間序列以圖表示時，通常能發現隨機型態 (random patterns)、趨勢型態 (trend patterns)、季節型態 (seasonal patterns)、循環型態 (cyclical patterns)、自我相關型態 (auto-correlated patterns)、偏離 (outlier)、干預—規劃與未規劃事件 (modeling combinations of patterns) 及模型結合型態 (modeling combinations of patterns) 等幾種常見的形式 [1]。

鄧聚龍 [10] 率先提出灰色理論 (grey system theory)，歷經幾年的時間，灰色理論已跨足控制領域與社會經濟等領域。經過這幾年來的發展，灰色理論已經初步形成以灰色模型 GM 為主體的模型體系、灰關聯 (relation analysis) 空間為基礎的分析體系。灰色預測的特性是：預測需要數據少、計算方式簡單、不需要太關聯的因素、可以用於短期或中長期預測、灰預測精準度高；缺點則是當資料離散程度越大，即資料灰度越大，預測精度越差。

Huang et al. [15] 以灰色理論為基礎，針對降雪量很高的福岡市，建立灰季節災難預測，預測每年第一次的降雪來臨日期，其預測結果精準度高達百分之九十。在 24 項人體計量資料遺漏值及異常值之研究中發現，灰預測的誤差率相當低，且比起普遍使用的最小平方方法有更高的準確度 [4]。許巧晴、溫裕弘 [6] 在「台灣地區國際航空客運量之預測灰色預測模式之應用」一文中，以 ARIMA 預測模式

與灰預測模式做比較，證實灰色預測對於國際航空客運量確實比傳統統計迴歸模式與 ARIMA 模式較具解釋與預測能力。劉定焜、施能仁 [9] 以灰預測模式研究台灣發行量加權股價收盤指數，發現灰預測模型優於時間序列模型，有利於投資人進行準確的投資判斷，亦可提供投資人進如期貨與現貨市場，進入買入避險之重要資訊。許哲強、陳家榮 [7] 利用灰預測進行台灣地區 1994 到 1997 年中部地區總體電力的負載型態，預測上有不錯的表現。

李宗儒、鄭卉方 [3] 以灰色理論應用在預測農作物之價格，驗證灰色理論對於預測農作物價格之便利性，致使政府、批發商、生產者三者制定政策、訂價、生產數量上有所助益。顏榮詳、陳家榮 [12] 在灰色系統理論在公共用水需求預測之應用—以台南地區為例研究中，證實了灰色理論應用在水資源需求預測應屬可行。陳昶憲 [8] 等人以烏溪大肚橋流量量測站之 15 場洪水為分析對象，前 10 場洪水用來尋找時間序列分析之相關參數，以作為後 5 場洪水之預估。同時僅以後 5 場洪水資料作灰色預測，驗證結果，灰色理論較能掌握洪水全歷程變化。

由於時間序列與類神經網路在建立其預測模式時，需要大筆的過去資料，但在實際生產過程中，其製程數據之取得並不容易，本研究採取具有少量歷史資料即可預測之優點的灰色理論，以建構 EPC 預測模型，同時利用統計迴歸模式建構一適合 EPC 管制下的增益值，以作為製程調整之用。

三、模式假設

1. 製程系統中的輸入與輸出具有函數之關係，即 $Y=f(X)$ ，(Y 為製程輸出值，X 為製程輸入值)。
2. 製程之輸入與輸出皆為常態分配。
3. 參數調整不考慮成本。
4. 前製程與後製程具有相關性。
5. 趨勢干擾模式造成製程偏移量為 v ，以遞增模式進行。
6. 階梯干擾模式造成製程偏移量為 δ ，以製程標準差的倍數來表示。

四、模式建構

本研究應用灰預測建構雜訊干擾預測模式，利用統計迴歸建立工程製程管制之增益值，將其結合在 EPC 調整方

程式中，讓自動化系統能即時給予回饋。茲將模式說明如下：

(一) 灰預測

灰預測主要功能是應用於系統模型訊息不完全、影響變數紛雜、行為模式不確定、運作機制不清楚的狀況下，進行系統的關聯分析、模型建構、預測、決策與控制等工作。灰色模型 GM(n,h) 是一個動態行為，它包含一群微分方程式，其中“n”代表微分方程式的階數，“h”代表微分方程式的變數數目，故 GM(1,1) 即可定義為一階微分，輸入變數為一之基本模式。GM(1,1) 是一個對現有數據進行預測的預測方法，找出某一數列間未來動態之狀況 [5]。

主要優點為所需的數據不用太多及數學基礎相當簡單，以原始序列 x^0 的觀測值而言，建立預測模型的前題是其級比 (class ratio) λ_k ：

$$\lambda_k = \frac{x^0(k-1)}{x^0(k)} \tag{1}$$

應落於區間 (0.1357, 7.389)，級比 λ_k 過大而進入 [7.389, ∞)，或者 λ_k 過小而進入 ($-\infty, 0.135$)，都不可能建立具有實用價值的預測模型，灰色預測模型說明如下 [10]：

步驟一：列出觀察數列，即原始數列資料 x^0

$$x^0 = (x^0(1), x^0(2), x^0(3), \dots, x^0(n)) = (x^0(k)) \tag{2}$$

其中 $k = 1, 2, 3 \dots n$

建立灰預測 GM(1,1) 之源模式

$$x^0(k) + az^1(k) = b \tag{3}$$

其中 $Z^1(k) = 0.5(x^1(k) + x^1(k-1))$ ， $x^1(k) = \sum_{m=1}^k x^0(m)$ ， a 為發展係數， b 為灰作用量。

因源模式雖近似滿足微分方程構成條件，但實際上卻不是真正的微分方程式，不能對一個時間歷程作連續的分析與預測，因此以一般微分方程 (equation 4) 取代 GM(1,1) 源模型。

$$\frac{dx^1}{dt} + ax^1 = b \tag{4}$$

步驟二：進行累加生成 (accumulated generating operation, 簡稱 AGO) 轉換

$$x^1 = (\sum_{k=1}^1 x^0(k), \sum_{k=1}^2 x^0(k), \sum_{k=1}^3 x^0(k), \dots, \sum_{k=1}^n x^0(k)) \tag{5}$$

$$\text{其中 } x^1(k) = \sum_{m=1}^k x^0(m) \tag{6}$$

步驟三：計算平均值 $z^1(k)$

$$z^1(k) = 0.5x^1(k) + 0.5x^1(k-1) \tag{7}$$

步驟四：求出發展係數 a 及灰作用量 b

$$a = \frac{\sum_{k=2}^n z^1(k) \sum_{k=2}^n x^0(k) - (n-1) \sum_{k=2}^n z^1(k)x^0(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [z^1(k)]^2 - [\sum_{k=2}^n z^1(k)]^2} \tag{8}$$

$$b = \frac{\sum_{k=2}^n [z^1(k)]^2 \sum_{k=2}^n x^0(k) - \sum_{k=2}^n z^1(k) \sum_{k=2}^n z^1(k)x^0(k)}{(n-1) \sum_{k=2}^n [z^1(k)]^2 - [\sum_{k=2}^n z^1(k)]^2} \tag{9}$$

若令

$$C = \sum_{k=2}^n z^1(k) \tag{10}$$

$$D = \sum_{k=2}^n x^0(k) \tag{11}$$

$$E = \sum_{k=2}^n z^1(k)x^0(k) \tag{12}$$

$$F = \sum_{k=2}^n [z^1(k)]^2 \tag{13}$$

則係數 a 與 b 可簡化成

$$a = \frac{CD - (n-1)E}{(n-1)F - C^2} \tag{14}$$

$$b = \frac{DF - CE}{(n-1)D - C^2} \tag{15}$$

步驟五：預測值之運算

$$\hat{x}^0(k) = \left(\frac{1-0.5a}{1+0.5a} \right)^{k-2} \frac{b-ax^0(1)}{1+0.5a} \quad (16)$$

由於灰色理論之 GM(1,1) 模式，所需資訊最少只要四筆資料，且因舊訊息的重要性會隨著時間的推移而降低，故本研究採用製程中四個雜訊訊息給予灰色系統，以進行預測第五筆資料之雜訊干擾，並依序列持續疊代，直到完成全部資料的推論。

(二) 統計迴歸模式

迴歸分析是一項統計工具，通常被用來表示兩個或兩個以上計量變數間的關係。許多統計調查的主要目的是在建立其組合的變數，在可能的狀況下預測一個或多個變數間的關係。迴歸模式是用來表示統計中兩個基本要素間相互關係的最佳方法，觀念如下 [2]：

1. 表示因變數 Y 隨著自變數 X 變動之趨勢。
2. 散布點圍繞著曲線（或直線）的統計關係。

迴歸分析的第一階次基本模式說明如下：

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (17)$$

Y_i ：第 i 個觀測值的因變數。

β_0 ：迴歸係數，表迴歸直線在 Y 軸上的截點與原點之間的距離。

β_1 ：迴歸係數，迴歸直線的斜率，表示每單位 X 變動所引起 Y 機率分配平均數之變動。

X_i ：已知常數，為第 i 個觀測值之自變數。

ε_i ：隨機誤差項，平均數 $E(\varepsilon_i)=0$ ，和變異數 $\sigma^2(\varepsilon_i)=\sigma^2$ ；
 $\sigma(\varepsilon_i, \varepsilon_j)=0, i \neq j$

此模式有下列幾項重要特性：

1. 第 i 個試驗的觀測值 Y 為下列兩個因子之和 (a) 常數項 $\beta_0 + \beta_1 X_i$ 和 (b) 誤差項（隨機項） ε_i ，此處 Y_i 是一個隨機變數。
2. 因 $E(\varepsilon_i)=0$ ，所以 $E(Y_i)=\beta_0 + \beta_1 X_i$ 為來自機率分配的因變數 Y_i 和第 i 個試驗的觀察值 X_i 的平均數，所以模式的迴歸函數為 $E(Y)=\beta_0 + \beta_1 X$ ，此迴歸模式敘述在不同 X 水準下的 X 值與機率分配 Y 的平均數之間的關係。
3. 第 i 次試驗的觀察值 Y 與迴歸函數間有誤差項的存在，即 $Y_i - (\beta_0 + \beta_1 X_i) = \varepsilon_i$ 。
4. 誤差項的變異數 σ_ε^2 是常數變異數 σ^2 ， $\sigma^2(\varepsilon_i)=\sigma^2$ ，所以因

變數 Y_i 的變異數是 $\sigma^2(Y_i)=\sigma^2$ 。

5. 誤差項 ε_i 和 ε_j 不互為相關，即任一試驗的誤差項對另一試驗的誤差項無影響。因 ε_i 和 ε_j 是非相關，則 Y_i 和 Y_j 兩因變數亦互無相關。
6. 綜合上述， Y_i 服從 $N(\beta_0 + \beta_1 X_i, \sigma^2)$ ，且任何兩因變數亦互為無相關。

迴歸模式中，迴歸係數 β_0 與 β_1 必須從樣本資料估計，其最常用的估計方法即為最小平方法，設 b_0 與 b_1 為 β_0 和 β_1 的代表估計值，此時 b_0 與 b_1 可表示如下：

$$b_1 = \frac{\sum X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sum X_i^2 - n \bar{X}^2} \quad (18)$$

$$b_0 = \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i^2) - (\sum X)(\sum XY)}{n(\sum X^2) - (\sum X)^2} \quad (19)$$

或

$$b_0 = \bar{Y} - b_1 \bar{X} \quad (20)$$

n ：表示成對的觀察值數目

$\sum X$ 和 $\sum Y$ ：表觀察值 X 與 Y 的和

$\sum X^2$ ：表諸 X 項的平方和

$\sum XY$ ：表每一項 X 對應的 Y 之乘積和

本研究採用常態母體分配之平均值 \bar{x} 為中心，以三倍標準差 σ 之距離為範圍，針對其平均值以遞增之模式進行，遞增量為 Δ ，每遞增一次即在該常態母體平均值 $\bar{x} + \Delta$ 下產生 n 筆樣本資料，直到序列範圍結束。在將其範圍中，各情況常態母體平均之 n 筆樣本分別求其平均值 \bar{y} ，故可得在 $\bar{x} + \Delta$ 對應一個 \bar{y} ，並帶入統計迴歸模式中求得迴歸係數值 b_0 與 b_1 。

(三) 製程調整模式

為了消除時間為 $t+1$ 時之雜訊項 N_{t+1} 所造成的製程變動，以至於製程偏移了目標值，故採用 EPC 的調整手法，來對製程進行監控。假設製程在 t 時間點的輸出值為 y_t ，期望輸出值 y_t 盡可能的接近目標值 T ，故在製程模式中加入一可控變數 x ，藉由調整可控變數 x ，以達到期望目標，可得製程數學模式如下 [17]：

$$y_{t+1} - T = gx_t \quad (21)$$

g ：增益值 (process gain)，為一常數。

假設製程在沒有做調整的情況下，因雜訊干擾造成製程產生變動而偏移目標，則可由下數學模式表示：

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} \quad (22)$$

在 t 時間點時，如對製程加以調整，則 $t+1$ 時間點之輸出值與目標值之差異將因而改變，調整方程式可表示如下：

$$y_{t+1} - T = N_{t+1} + gx_t \quad (23)$$

因在 t 時間點無法偵測出雜訊項 N_{t+1} ，故針對 N_{t+1} 進行預測，令預測值為 \hat{N}_{t+1} ，殘差項 $e_{t+1} = N_{t+1} - \hat{N}_{t+1}$ ，則調整時的製程模式為

$$y_{t+1} - T = e_{t+1} + \hat{N}_{t+1} + gx_t \quad (24)$$

要消除影響製程雜訊項，調整策略即令 $gx_t = -\hat{N}_{t+1}$ 或 $x_t = -\left(\frac{1}{g}\right)\hat{N}_{t+1}$ 。

增益值 g 就像迴歸係數一樣，它調整著 x_t 的放大或縮小倍數，以調整輸出值 y_t ，利用迴歸方程式所求出之迴歸係數 b_1 取代增益值 g ，調整策略令：

$$b_1 X_t = -\hat{N}_{t+1} \quad (25)$$

故回饋調整方程式為

$$X_t = -\frac{1}{b_1} \hat{N}_{t+1} \quad (26)$$

若以多筆資料為預測時，則可表示 N_{t+1} 的預測值為

$$\hat{N}_{t+1} = f(N_t, N_{t-1}, \dots, N_{t-i}) \quad (27)$$

則回饋調整方程式可表示為

$$X_t = -\frac{1}{b_1} f(N_t, N_{t-1}, \dots, N_{t-i}) \quad (28)$$

五、應用案例

本節以電腦模擬數值說明灰預測如何建立雜訊預測干擾模式及在 EPC 架構下，灰色理論預測製程平均值偏移之績效。

(一) 建立雜訊預測模式

首先以服從常態分配 $N(3,1)$ 模擬 200 筆數據，如圖 1 所示。由圖 1 可看出白噪音 e_t 為服從常態分配之常態數據。

在灰色理論系統中，運算單位之歷史資料最少只需要四筆，即可針對下一時間點之雜訊值預測，因此，採用四筆之歷史資料，以獲取下一時間點之預測值。圖 2 顯示雜訊實際值與預測值兩者比較圖形。由圖 2 可以發現，常態分配下所模擬之值與預測值相近。

(二) 以統計迴歸模式建立增益值

在求取迴歸係數中，設白噪音 e_t 為服從常態標準 $N(3,1)$ 的數據，並以平均數 3 為基準，管制圖界線設定為 3 倍標準差，針對平均值 3 以遞增模式進行，每次遞增量為 0.3，並在該遞增之常態母體平均數下模擬產生 100 筆數

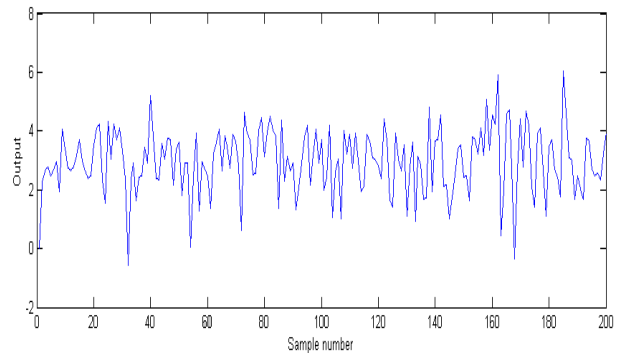


圖 1. 常態分配下原始資料之製程輸出

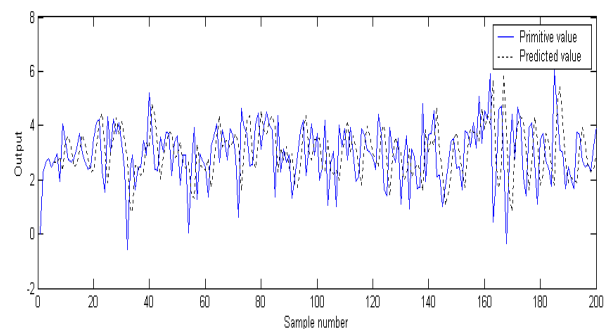


圖 2. 常態下雜訊實際值與灰理論之雜訊預測值

據，並求此數據之平均數，直到範圍內之所有數據完成。因此，在一母體平均數下皆可相互對應到一個樣本平均值，如表 1 所示。藉由此等資料，再經由統計迴歸模式可得迴歸係數值分別為 $b_0 = -0.095$ 、 $b_1 = 1.0111$ ，迴歸曲線如圖 3 所示。此迴歸係數值 b_1 將取代 EPC 中之增益值。

(三) 灰預測 EPC 調整模型

設白噪音 e_t 為服從常態標準 $N(3,1)$ 的數據，採用隨機亂數產生 1000 筆數據，並對此 1000 筆數據，以四筆資料為一組，共可得 250 組，經計算得平均值為 2.9894，變異數為 0.2553，數據如圖 4 所示。同樣採取最少歷史資料做預測，針對這 250 筆資料建模，可得圖 5 雜訊實際值與灰預測雜訊值之比較圖形。將迴歸係數值帶入調整方程，可得調整方程為 $x_t = -\frac{1}{1.0111} f(N_{t-1})$ ，將其進行回饋調整，則控制後可得輸出值形式如圖 6 所示，其平均值為 2.9979 變異數為 0.2489。

假設製程受到一可歸屬原因影響，自第 500 筆開始有趨勢性干擾介入，使製程呈現向上偏移之趨勢，圖 7 為模

表 1. 常態母體平均數對應之樣本平均數

項目	母體平均值	樣本平均數
1	3.0	2.8304
2	3.3	3.3169
3	3.6	3.4663
4	3.9	3.8424
5	4.2	4.2729
6	4.5	4.4572
7	4.8	4.9001
8	5.1	4.9667
9	5.4	5.4193
10	5.7	5.6068
11	6.0	5.9246

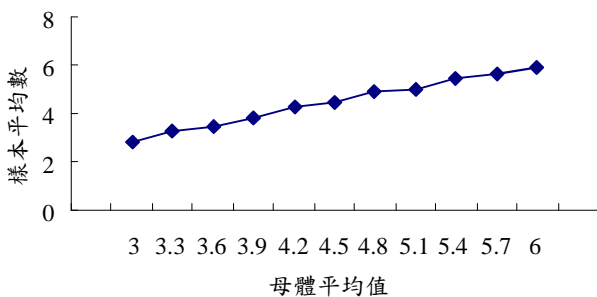


圖 3. 迴歸曲線模型圖

擬數據圖。經由回饋調整後，輸出值可以被調整在目標值上下跳動，以避免趨勢情況的產生。圖 8 及圖 9 顯示經由回饋調整後，數據之輸出形式。此時製程調整後之平均值為 3.0252，變異數為 0.2929。

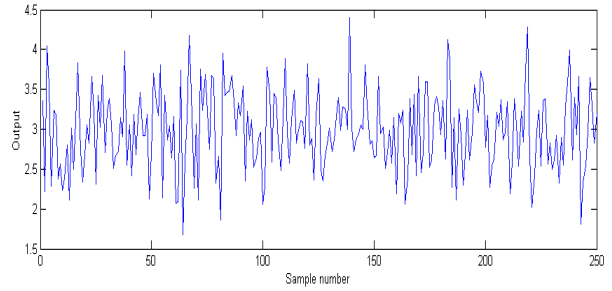


圖 4. 原始資料之製程輸出值

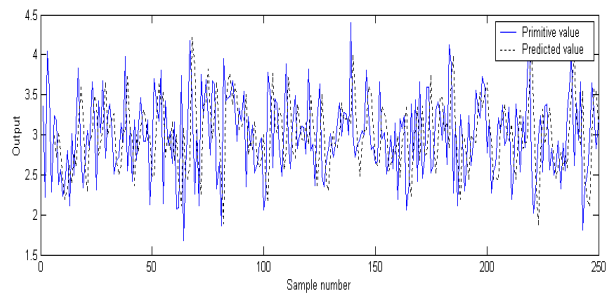


圖 5. 雜訊值與灰理論之預測值

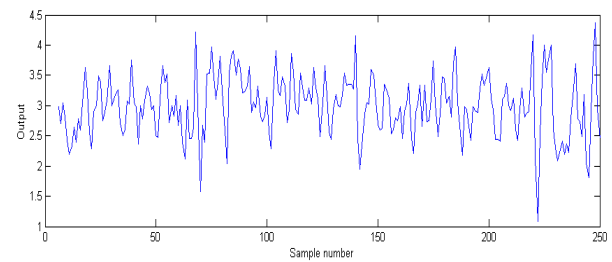


圖 6. EPC 調整後之雜訊值

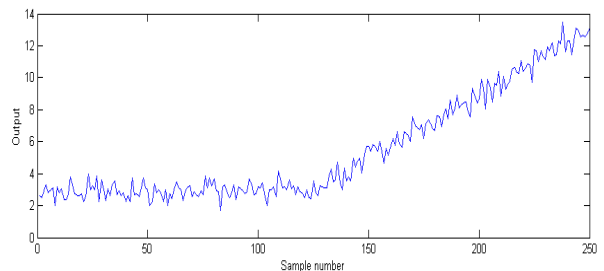


圖 7. 趨勢性之製程原始輸出值

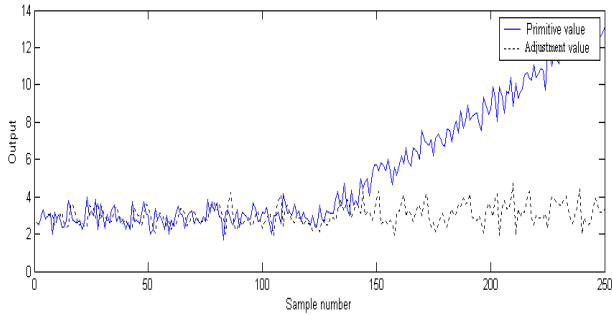


圖 8. 製程原始輸出值與 EPC 控制後之雜訊輸出值

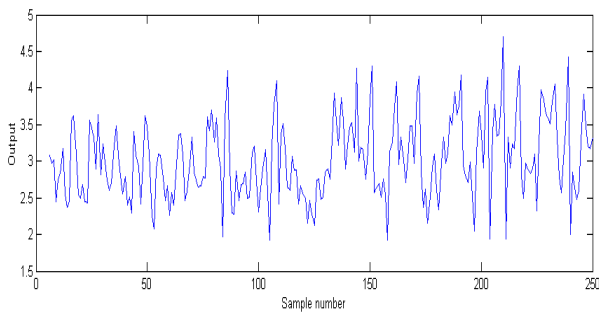


圖 9. EPC 控制後之雜訊輸出值

其次假設製程輸出的目標值為 10，增益值 g 設定為 1， X_t 設定為 0.1，圖 10 為模擬 600 個未採用 EPC 控制之觀測值，並假設製程在第 200 個樣本點起，有階梯性干擾介入，使製程輸出的平均值偏移了 2 倍標準差。圖 11 及圖 12 顯示，發生階梯式干擾之製程，採用 EPC 之回饋控制後，數據輸出形式。由圖 11 與圖 12 可發現，輸出值被調整回接近未受到趨勢干擾前之水平，於目標值附近上下跳動。

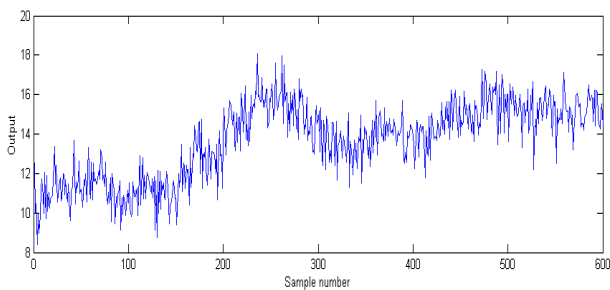


圖 10. EPC 模式下階梯式干擾之雜訊值

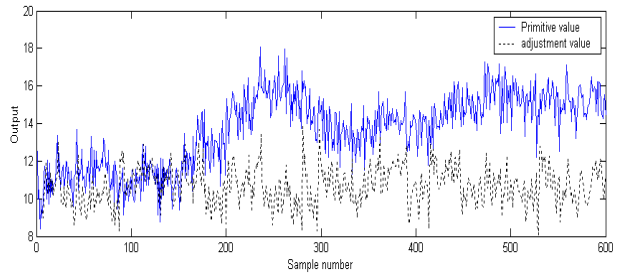


圖 11. 階梯式干擾之雜訊值與 EPC 調整後之輸出值

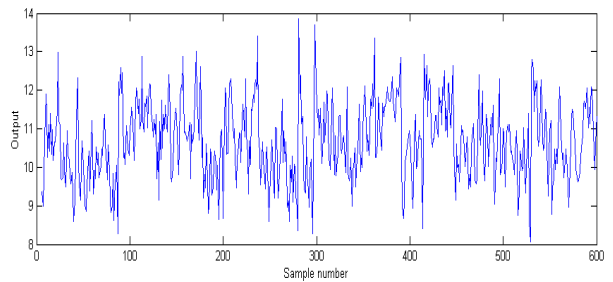


圖 12. 採用 EPC 控制階梯式干擾後之輸出值

六、結論

利用傳統的製程管制圖進行監控時，必須假設所取之品質量測值彼此間相互獨立，但在實際生產系統中，諸如石化工業、連續製程、或抽樣間距極為緊密之環境中，其製程中的數據，並無法滿足此假設條件，因此採用 EPC 手法來減低製程中不易剔除的變異，並將資訊回饋給系統，以有效的維持製程在一定的目標值上。因而，近年來已有產業使用 EPC 手法來做管制。

本研究在 EPC 之架構下，發展一個以灰色理論為基礎的預測模式，用以預測實際製程中之製程變化，並利用統計迴歸模式來獲得 EPC 的調整方程式及製程偏移偵測系統，藉以偵測製程受到可歸屬原因干擾後，製程是否偏離目標值須進行調整。並獲得下列重要結果：

1. 透過利用統計迴歸模式所建立的 EPC 調整方程式，能對製程雜訊數據中的相關性進行有效的補償，促使製程維持穩定進而降低製程變異。
2. 利用灰色理論預測之模式，能有效預測製程中下一時間點之雜訊，相較於傳統的 ARMA 與類神經網路需要多筆的資料才可取得精確之預測，灰色理論只須少量數據即可有良好的預測效果，故在使用上頗具方便性與實用性。

參考文獻

1. 史泰芬·戴魯吉歐 (民 88), 預測的原理與應用 (許君純譯), 台灣西書出版社, 台北。
2. 吳宗正 (民 82), 迴歸分析, 三民書局, 台北。
3. 李宗儒、鄭卉方 (民 89), 應用灰色理論預測物之價格—以紅豆為例, 農林學報, 49(2), 83-92。
4. 林房儻 (民 83), 以灰色預測模型處理人體計測資料遺漏值及異常值的研究, 工業工程學刊, 11(2), 41-44。
5. 翁慶昌、陳家權、賴宏仁 (民 90), 灰色系統基本方法及其應用, 高立圖書有限公司, 台北。
6. 許巧晴、溫裕弘 (民 86), 台灣地區國際航空客運量之預測—灰色預測模式之應用, 運輸計畫季刊, 26(3), 525-556。
7. 許哲強、陳家榮 (民 89), 灰色模糊預測模式在區域尖峰負載預測之應用—以台灣中部地區為例, 台灣土地金融季刊, 37(1), 117-132。
8. 陳昶憲、劉錦蕙、楊美美、陳韋右 (民 92), 時序與灰色時流量預測模式效能比較, 台灣水利季刊, 51(4), 68-78。
9. 劉定焜、施能仁 (民 87), 灰色動態模式下台灣股價指數期貨避險策略評估之研究, 台灣經濟, 264, 32-64。
10. 鄧聚龍 (民 88), 灰預測模型方法與應用, 高立圖書有限公司, 台北。
11. 駱景堯、余豐榮、楊宗儒 (民 90), EPC 與 SPC 整合架構下之管制圖評估與選用, 工業工程學刊, 18(6), 63-72。
12. 顏榮祥、陳家榮 (民 89), 灰色系統理論在公共用水需求預測之應用—以臺南地區為例, 台灣水利季刊, 48(3), 69-77。
13. Box, G. E. P. (1993) Process adjustment and quality control. *Total Quality Management*, 4(2), 215-227.
14. Box, G. E. P. and T. Kramer (1992) Statistical process monitoring and feedback adjustment—a discussion. *Techonometrics*, 34(3), 251-285.
15. Huang, J., H. Wakamatsu and J. F. Gao (1991) Snowfall prediction based on grey system theory. *The Journal of Grey System*, 3(2), 141-152.
16. Janakiram, M. and J. B. Keats (1998) Combing SPC and EPC in a hybrid industry. *Journal of Quality Technology*, 30(3), 189-199.
17. Montgomery, D. C. (2001) *Introduction to Statistical Quality Control*, 4th Ed., 154-164, 546-566. John Wiley & Sons, New York, NY.

收件：94.07.21 修正：94.10.18 接受：94.11.23