

結合主成份與灰關聯分析法於油墨印刷參數最佳化之研究

葉玉玲¹、駱景堯²

¹南開科技大學 行銷與流通管理系

²國立雲林科技大學 工業管理系

通訊作者：葉玉玲

聯絡地址：南投縣草屯鎮中正路 568 號

電子郵件：yip@nkut.edu.tw

投稿日期：2015 年 3 月

接受日期：2015 年 5 月

摘 要

本次研究為印刷工廠個案探討，在考量溫度與濕度的情況下，針對 117 x174 x1.1 吋玻璃材質的基板，以烘烤型油墨做測試，並在考量脫泡機轉速、脫泡機時間、印刷刀壓力、印刷刀傾斜角度、印刷刀速度、溶劑的容量、有色主劑容量、硬化劑容量等八個控制因子，運用田口方法進行油墨實驗。本次研究以鋸齒及膜厚的多重品質望小型為考慮，透過數顯千分表及手持式數位顯微鏡量測數據，並計算出 SN 比值，並結合主成份分析與灰關聯運算，找出同時滿足多重品質特性之於烘烤型油墨印刷最佳參數組合，以節省印刷成本，以達到最佳印刷品質。

關鍵詞：田口方法、多重品質特性、油墨印刷、主成份分析、灰關聯分析

壹、緒論

印刷的應用隨著時代的演進，在食、衣、住、行、育、樂等各方面都有不同的需求，在食的方面，超市及百貨公司的精美包裝逐漸取代傳統雜貨店的塑膠袋包裝；在衣的方面，多種樣式花色的布料及材料較引人注目；在住的方面，壁紙和地磚等建材印刷美化了居住空間；在行的方面，海、陸、空各式交通工具的外觀圖案及交通標誌的印刷均確保了行的安全；在育的方面，學校教科書與書籍利用印刷記錄文字以傳達教育和增長知識的目的；在樂的方面，休閒娛樂的撲克牌上的圖案都有賴印刷美化其圖紋。由此可見，印刷與人類的日常生活密切關係，範圍由小至紙張、雜誌、圖畫、報紙、食品包裝、手機面板的印刷，擴大至汽機車、航空導

航、船隻的儀表板、液晶螢幕的印刷。

一、印刷原理

印刷的原理是將油墨倒在網版上，利用刮刀和回墨刀的刮拭產生印壓，使油墨透過網屏的孔洞，將網版上的圖案轉印到被印物上；刮刀和回墨刀一往一返，藉由水平左右的往復動作，以完成印刷。印刷技術可分為凸版印刷（letterpress printing）、凹版印刷（gravure printing）、平版印刷（offset printing）及網版印刷（silk screen printing）等四種（林行建，1999）。

印刷油墨主要是由主劑和助劑組合而成，主劑即顏料，顏料在油墨中發揮顯示色彩的作用，是一種不溶於水和有機溶劑的彩色、黑色或白色的物質。不論何種顏料，需有良好



的耐水性，才能均勻地和連接料進行結合。助劑分為連接料、填料與附加料三種，連接料為輔助油墨以適當的粘性、流動性和轉印性能，以及經印刷完，使顏料固著於印刷品表面的化學物質，俗稱調墨油。在顏料中加入適當的填料，不僅可以減少顏料的用量以降低成本，又可調節油墨的稀稠度、流動性，也能提高油墨配方設計時的流動性。附加料則為了改善油墨的性能而附加於油墨的材料，當油墨經基本配方後，於某些特性上，不能符合製程需求時，或由於條件的改變而不能滿足印刷使用上的要求時，就得加入少量的附加料以解決（林得發，1983）。

二、田口品質工程

田口玄一博士發展出「品質工程」(Quality Engineering)，美國人稱此為「田口方法」(Taguchi method)，又稱為「田口式實驗設計法」。田口方法運用直交表實驗設計及信號雜音比計算 (signal-to-noise ratio, SN) 後，使系統參數最佳化，讓製程的品質較為穩定，並在低成本的情況下，達到高品質的目的（徐世輝，2006）。

(一) 因子的分類

Phadke & Dehnad (1987) 提出影響產品或製程績效的參數關係，其中所要探討回應值 (response) 或品質特性，以 y 來表示，影響產品或製程績效的參數因子可分為有控制因子 (control Factor)、雜音因子 (noise Factor) 與信號因子 (signal Factor)，以 M 表示。

1. 控制因子是對產品品質變異具有顯著影響的因子，透過最佳控制因子水準的選擇，使產品品質機能對雜音因子的干擾有最小之敏感性，以降低產品的變異。
2. 雜音因子為產品設計者或操作員無法控制的參與需花費高成本來控制的參數皆屬雜音，雜音因子可歸納為外部雜音、內部雜音及單位間的變異等三類。
3. 信號因子則是由產品設計者或操作員根據所開發產品的工程知識來選擇，以表達所想要的回應值，也就是品質特性。當品質特性的目標改變時，產品設計者或操作員可調整一個或多個信號因子，使品質特性的平均值與目標值一致。

(二) 品質損失函數

田口博士將品質定義為「產品出廠後對社會所造成的損失」，當產品之品質特性值與目標值有差異時，社會將遭受到損失，而當這差異越大時，社會的損失將會增加。因此，田口方法的重點是在產品設計開發的初期就考慮品質的問題，以損失函數來衡量產品的品質，使得產品在使用時對社會所

造成的損失最小化。品質特性可區分為望目型 (nominal the Best, NTB)、望大型 (larger the better, LTB) 與望小型 (smaller the better, STB) 等三類 (黎正中，1993)。

(三) 信號雜訊比

信號雜訊比 (signal noise ratio, SN) 依品質損失函數之概念，品質損失愈小，代表品質越高。品質損失函數與信號雜訊比之間關係整理如下：

1. 望目型：指的是雙邊規格品質特性具有一個目標值，且規格上限與規格下限在此目標值的兩側，當產品的特性值偏離目標值，便會造成損失。其損失函數為： $L(y) = k(y-m)^2$ ，而信號雜訊比為： $SN = 10 \log \frac{y^2}{S^2}$ 。
2. 望小型：指的是有一規格上限，且為非負數值，其值愈小愈好。望小型品質特性的目標值為零，如，電腦的處理時間或噪音等。由於目標值為零，因此將 $m = 0$ 代入 $L(y) = k(y-m)^2$ ，得品質損失函數為： $L(y) = ky^2, y \geq 0$ 。而信號雜訊比為： $SN = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum y_i^2 \right)$ 。
3. 望大型：指的是有一規格下限，且為非負數值，其值愈大愈好。如，產品或系統壽命或黏接強度等。望大特性是望小特性的倒數，其品質損失函數為： $L(y) = k(1/y)^2, y \geq 0$ ，而信號雜訊比為： $SN = -10 \log \sum \frac{1}{y_i^2}$ 。

(四) 田口直交表

田口博士認為可以忽略對實驗結果影響很小的高次交互作用 (high-order interaction)，而只要考慮主效應與低次交互作用。因此，利用田口直交表規劃實驗，可以減少實驗次數。如，7 個因子 2 個水準的實驗，如果考慮所有的效應，則要 $2^7 = 128$ 次的實驗；若只考慮所有的主效應，利用田口直交表規劃實驗，則只需要 8 次實驗。一般而言，實驗配置由二部份組成：內側直交表 (inner orthogonal array) 與外側直交表 (outer orthogonal array)。內側直交表的「行」代表控制因子，其每一「列」表示某一特定的產品設計，亦即控制因子的水準組合。外側直交表的「行」代表雜音因子，而其每一「列」則表示雜音因子的水準組合。內、外側直交表構成一完整的參數設計實驗 (黎正中，1993)。

(五) 多重品質特性問題

田口方法僅能解決單一品質特性最佳化的問題，若針對單一品質特性的方法對個別品質特性分別最佳化，易導致品質特性間，產生矛盾及衝突的現象。此時，若利用工程知識或是工程師的經驗去判斷，則顯然太過主觀，也可能未必是



最佳的，為了解決此問題，有不少學者針對多重品質特性問題做相關的研究，常見的方法，有主成份分析法（Principal Component Analysis, PCA）與灰關聯分析（Grey relational analysis）。

1. 主成份分析法

主成份分析法在 1901 年由心理學家 Karl Pearson 所提出，將個別品質特性損失標準化，以消除損失函數因不同的單位所造成之差異，利用主成份分析法將原本的 p 個品質特性轉換成 k 個 ($k \leq p$) 不相關的綜合品質特性，最後針對 k 個不相關的綜合品質特性，依主成份值找出最佳因子水準組合。魏郁婷（2014）運用主成份分析法探討開花前之累積日輻射量、累積生育度數、累積作物蒸散量、生長天數、開花後之累積日輻射量、累積生育度數、作物蒸散量及生長天數，對作物產量之影響。結果顯示出目前影響產量的主要成因為稻作開花前之輻射，在氣候變遷情境中發現近未來、未來及遠未來影響產量的主要因素為稻作開花前之生長天數。胡德榮及吳昭輝（2014）以美國軍規 MIL-L-17563 為製程標準，針對鋁合金標準試件，使用真空含浸方法和指定有機含浸劑 IMPRX 95-1000A，進行試件表面含浸製程加工處理探討。以含浸液溫度、含浸艙真空度、成化槽熱水溫度、乾燥時間共四個參數因子進行田口實驗，對於試件的含浸層材料性質所造成的影響程度。實驗結果證實結合田口實驗計畫法與主成份分析法，找出一組最佳化鋁合金試件含浸參數組合，確實能有效改善含浸製程之全部三項品質特性。

2. 灰關聯分析

灰色關聯性以曲線間幾何形狀的差，將以曲線間差值的大小，作為關聯程度的衡量尺度。Chen（2000）把多個品質特性轉換成單個灰色關聯度值，藉由比較灰色關聯度值，可排列各品質特性值所呈現出的反應大小，並挑選最佳因子組合。林士福（2006）結合田口方法與灰關聯分析，以製鍍氣壓、基板溫度、蒸發速率、退火溫度作為控制因子，針對品質特性為平均折射率（望大特性）、平均消光係數（望小特性）、表面粗糙度（望小特性），以找出薄膜製程最佳參數，改善光學工廠的薄膜製程。朱恭德（2007）結合灰關聯分析理論與田口方法，以磨削進給、磨削轉速、切削深度及切寬比為實驗因子進行實驗，以改善陶瓷製程，驗證結果顯示可改善加工品質，且可降低刀具成本。黃得誌（2007）針對車削作業方式，選用 $L_9(3^4)$ 直交表，以切深、進給、轉速、刀尖同心度為調控因子，運用灰關聯整合表面粗糙度、刀具磨耗、車削噪音、切削力等四個品質特性，找出最佳切削參數組合；驗證後發現可有效節省公司成本並提供公司的產業競

爭力。蘇俊豪（2009）以改善快速原型的加工時間、表面粗糙度、模型尺寸為目標，採用 $L_{18}(2^1 \times 3^7) \times L_4(2^3)$ 直交表，在實驗前樹脂的攪拌時間、成型平臺材料、降溫設備是否開啟等三種為雜訊因子的情況下，以田口實驗法建立實驗預測模型，並運用灰關聯求出成像光源種類、單層照射時間、活性寡聚體數脂添加量、樹脂覆蓋表面時間、模型切厚度、光起始劑含量、光通量大小的最佳參數組合。黃士滔及楊婷詒（2014）結合分析網路程序法計算出評選準則之權重，並運用階層式灰關聯進行運算，針對未分類其他金屬製品製造業選擇最合適供應商。綜合以上，灰關聯分析的優點在於可將兩個或兩個以上的品質特性，轉換為一個灰關聯度值，並且依值的大小排序各品質特性，以挑選出其最佳參數組合。

3. 主成份灰關聯法

主成份灰關聯法是結合主成份分析方法與灰色關聯度方法的優點，不但以主成份分析法解決多重品質特性值之間的關聯性，更以灰色關聯度，考慮兩個或兩個以上的主成份，由此選取最佳的因子組合。本次研究以主成份分析法，計算出因子之間獨立的主成份個數，以取代原有的多重品質特性，再以灰關聯分析方法將其轉換成單一灰色關聯度值，藉由比較灰色關聯度值，挑選最佳因子組合。主成份灰關聯法可分為六個步驟來進行，各步驟內容說明如下：

步驟一：蒐集實驗數據

步驟二：實驗完成後對各品質特性數據進行正規化處理，由於各品質特性的單位不盡相同，在比較前需對原始數據以望大、望小及望目效果測度，進行正規化處理，使正規化的數據介於 0 與 1 之間。假設有 m 個實驗列， p 個品質特性行，則原始數據：

$$X_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(k), \dots, x_0(p)\};$$

$$X_1 = \{x_1(1), x_1(2), \dots, x_1(k), \dots, x_1(p)\};$$

$$X_i = \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k), \dots, x_i(p)\};$$

$$X_m = \{x_m(1), x_m(2), \dots, x_m(k), \dots, x_m(p)\}。$$

其中， X_0 代表 p 個元素（或屬性）之參考數列 $X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_m$ 代表比較數列依照 Chen（2000）所提之三種正規化公式處理：

(1) 望大效果測度：在原始序列中目標值是不確定的，但希望其目標是愈大愈好。

$$x_i^*(k) = \frac{x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)}$$

（其中 $i=1, \dots, m, k=1, \dots, p$ ）

(1)



- (2) 望小效果測度：在原始序列中目標值是不確定的，但希望其目標是愈小愈好。

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i^{(0)}(k) - x_i^{(0)}(k)}{\max x_i^{(0)}(k) - \min x_i^{(0)}(k)}$$

(其中 $i=1, \dots, m, k=1, \dots, p$) (2)

- (3) 望目效果測度（設目標值為）：在原始序列中目標值是確定的。

$$x_i^*(k) = 1 - \frac{|x_i^{(0)}(k) - O_b|}{\max\{\max x_i^{(0)}(k) - O_b, O_b - \min x_i^{(0)}(k)\}}$$

(其中 $i=1, \dots, m, k=1, \dots, p$) (3)

將望大、望目及望小的最佳值皆為且最差值為，當作參考數列 x_0 （或標準數列），將實驗後所得之數據當作比較數列 $x^*(k)$ 。

步驟三：利用主成份分析法求取主成份得點。先利用標準化後的實驗資料，算出各品質特性間的相關係數矩陣 R ，分子為正規化後之品質特性行與行間的共變異數；分母為正規化後單一品質特性行的標準差（ $i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, p; k=1, 2, \dots, p$ ）。

步驟四：計算灰色關聯度，比較灰色關聯度 Γ 之大小：

- (1) 針對各主成份得點計算差序列，並算出主成份得點之灰關聯係數為 $\gamma(x_i(k), x_j(k))$ 。

$$\gamma(x_i(k), x_j(k)) = \frac{\Delta \min + \zeta \Delta \max}{\Delta ij(k) + \zeta \Delta \max}$$

公式說明如下：

$i=1, 2, 3, \dots, m; j=1, 2, 3, \dots, m; k=1, 2, 3, \dots, n$ 。

$x_i(k)$ 為參考數列， $x_j(k)$ 為比較數列。

ζ ：為辨識係數， $\zeta \in [1, 0]$ 且，通常此數值均取 0.5。

- (2) 利用主成份的灰關聯係數算出主成份之關聯度 Γ ，其公式為

$$\gamma(x_i, y_j) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma(x_i(k), x_j(k))$$

將各個灰關聯係數之數值代入上述公式中，以求得灰色關聯度 Γ ，灰色關聯度 Γ 之排序最大值者，為直交表內因子水準最佳組合，除直交表的組合外，為了求整體之因子水準最佳組合，對各因子水準之平均灰色關聯度 Γ ，利用反應表、反應圖找出整體之因子水準最佳組合。

步驟五及六：確認實驗與提出結論：利用選取的最佳因子水準組合，進行確認實驗，將實驗結果與現行因子水準組合結果作比較，如果所選取的最

佳因子水準組合，實驗結果確實比現行水準好，則此次實驗設計是成功的，如果比現行水準差，則工程人員必須重新檢討及規劃實驗，直到找出具最佳因子水準組合。

陳宏佳(2009)應用灰關聯與主成份分析結合田口方法，找出壓鑄品製程的最佳參數組合，使用 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表進行實驗，先以田口損失函數評估產品的品質特性，再利用主成份分析程序，將品質特性之損失函數轉換成無相關的主成份，並透過灰關聯分析解決兩個以上的主成份，針對望小特性的張力、表面凹孔量、夾渣量和望大特性的透氣度為目標，找出最佳燒鑄溫度、銅液高度、燒鑄速度、砂心砂粒度、凝固時間、洗鑄時間、燒鑄等待時間、射出壓力的最佳參數組合。綜觀以上，印刷可以為產品增加其附加價值，主要關鍵是印刷製程、印刷材料及印刷技術等三方面。印刷製程參數的改變，可能連帶影響到兩個或兩個以上的多重品質特性的最佳化，由此看來，製程的最佳參數組合對印刷成品將造成甚大的影響。

本次研究採用主成份分析法，以各參數之間獨立的主成份個數，以取代原有的多重品質特性，再以灰關聯分析方法將其轉換成單一灰色關聯度值，藉由比較灰色關聯度值，藉以挑選出印刷製程參數中，能同時滿足對鋸齒和膜厚等品質特性之最佳參數組合。透過最佳參數組合可降低材料成本，提高產品的良率。本次研究地點為台南某印刷廠，印刷機台規格以該印刷廠使用為主；針對玻璃材質 117 x 174 x 1.1 吋基板為主，油墨種類為烘烤型油墨，刮刀材質為橡皮材質，刮刀硬度分別為圖案 60 度、黑框 80 度、靶標 60 度，網目目數分別為圖案 350 目、黑框 300 目、靶標 300 目、網距 122mm。

貳、方法

本次研究利用魚骨圖彙整出所有影響印刷品質特性的因素，經過歸類及分析找出最適當的控制因子，以及文獻彙整後所訂定出水準，溫度及濕度為雜訊因子；經由田口方法及主成份分析來驗證其有效性與實用性，期望能提供廠商最佳的製程參數水準組合，以作為日後同類型印刷參數設定之參考。

一、材料準備

(一) 印刷前置作業：

基板在印刷前，必須經過拋粉與清洗，主要是去除基板的表面的雜質，防止量測的誤差造成的不確定性和不穩定性，需用平面玻璃清洗機，以 RO 純水清洗玻璃上的油漬或粉屑。



(一) 因子、水準的選擇與設定：

本次研究的控制因子與雜訊因子的水準數及設定分別說明如下，彙整資料見表一。

1. 脫泡機轉速及時間：在油墨開始印刷之前，需要將有色主劑、硬化劑、溶劑透過充分且均勻得攪拌混合之後，增加流動性以使其分散，才可以進行印刷。本次研究受限於工廠的脫泡機台規格限制，因此，脫泡機的轉速水準設為二個水準，而脫泡機的時間設定為三水準。
2. 印刷刀壓力、速度及傾斜角度：印刷刀的壓力過小，印刷機會無法印出印紋；印刷刀的壓力過大，對刮刀和網板的磨損較大。印刷刀的壓力依印刷到玻璃上，並有完整圖樣的三個壓力數值為水準。印刷刀傾斜角度影響油墨被壓出的數量，印刷刀三個傾斜角度設定。印刷刀刮動的速度快，油墨量少；刮動速度慢，油墨量多，印刷刀刮動速度不一易造成壓力不均，印出的黑框不均勻，印刷刀刮動速度設定為三水準。
3. 有色主劑、硬化劑及溶劑的容量：油墨是由有色主劑、硬化劑、溶劑混和調配而成，在調配油墨時，容量若過多，會浪費油墨，增加公司成本；容量若過少，則第一次調配的油墨和第二次調配的油墨，色調一致性會受到影響。有色主劑的顏色代表油墨的顏色，硬化劑決定油墨的乾燥程度和流動性，太多硬化劑會使乾燥速度增加，導致油墨易凝固，降低印刷的次數且易造成塞網情形，亦會使印刷產生鋸齒；過少硬化劑，使油墨無法完全硬化，而使用油墨過程中的流動性、

粘度、顏色的濃淡取於溶劑。溶劑的多寡加入同種類的油墨中，會配出印刷效果不同的油墨，也會影響油墨的黏稠度，溶劑過多會造成油墨較稀，其流動性大，導致印出來油墨線條會暈開；溶劑過少會造成油墨較黏，其流動性小，導致油墨不易通過網布印在基板上。因此，本次研究將這三種的調配比率視為探討的因子。

4. 溫度與濕度：由於空氣中的落塵量不小，在印刷的環境中，若灰塵過多，不僅雜質會堵住部分網版，印刷時也易產生鋸齒，而個案公司的印刷環境屬於無塵室，雜質相對於一般的環境中較少，但不能完全排除印刷會產生鋸齒的可能性。若濕度低，雜質會較少，溫度會影響油墨的乾燥速度，個案公司的溫度和濕度常變動且難以掌控且會影響印刷的膜厚和鋸齒，而濕度會影響薄膜的緻密性、折射率、穿透率，將其歸類為雜訊因子，並將實驗觀測到的溫度、溼度取區間值當作水準。

(二) 選用適當的直交表

根據因子及其水準數選取適當的直交表，本次研究有 8 個控制因子，其中 7 個控制因子為三水準，只有一個控制因子為二水準，選用 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 直交表，配置於內側直交表；另將兩個各為三水準的雜訊因子配置於外側直交表中，選用 $L_9(3^4)$ 外側直交表，進行部分因子實驗，依直交表配置法，將控制因子依因子數目隨意配置於直交表中。如需完整作實驗則需 $2 \times 3^7 = 4374$ 次實驗，在時間與成本的考量下，使用田

表一 控制因子及各水準設定

因子	水準	水準 1	水準 2	水準 3
A	脫泡機轉速	2000rpm	2300rpm	
B	印刷刀壓力	兩圈	兩圈三格	一圈
C	印刷刀速度	160mm/sec	170mm/sec	180mm/sec
D	溶劑容量	0.56g	2.00g	2.78g
E	脫泡機時間	1min	2mins	3mins
F	印刷刀傾斜角度	10°	20°	30°
G	有色主劑容量	53.90g	50.00g	46.86g
H	硬化劑容量	0.56g	2.50g	5.00g

表二 雜訊因子及各水準設定

因子	水準	水準1	水準2	水準3
P	溫度 (°C)	18.02~19.41	19.42~20.63	20.64~21.85
Q	濕度 (%)	48.01~54.83	54.84~61.57	61.58~68.03



口方法可減少實驗次數，故選內側直交表為 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 、外側直交表為 $L_9(3^4)$ 作實驗。每組參數組合各印刷 30 片玻璃，並烤 30 片玻璃，取其平均當作該組參數之數據。

(三) 實驗進行與數據收集

1. 調配油墨與設定脫泡機之參數：將空杯放在電子秤上，秤量有色主劑、硬化劑及溶劑的重量，扣除空杯的重量，再將電子秤計量歸零，再將有色主劑加入空杯中直到所需之克數為止。如第一筆實驗，加入有色主劑 53.9g，再將電子秤歸零，加入溶劑所需之克數 0.56g，電子秤再予歸零，再加入硬化劑 0.56g；將已調配的油墨放入治具中，以電子秤秤治具（含油墨）的總重量，治具（含油墨）的總重乘以 0.77 亦為砝碼克數，計算如下： $263.66g \times 0.77 = 203.0182g$ 。
2. 設定印刷機之參數：如以第一筆實驗，設定印刷機壓力、傾斜角度及速度等參數，印刷 30 片後，放入烤箱烘烤，烤箱溫度固定為 140 度，烘烤時間為 1 小時，再取出玻璃基板。
3. 量測數據：運用數顯千分表量測印刷面膜厚，每一邊各量測三次並計算出平均，以降低膜厚的誤差；再運用手持式數位顯微鏡量測鋸齒。
4. 收集數據並分析：將所有量測的數據收集完之後，根據品質特性利用 Minitab 計算所有 SN 比值，找出最佳的回應圖和相對應的最佳參數組合，最後再將參數組合進行驗證，若有再現性，則實驗印刷的最佳參數組合可用在製程上；若無再現性，則必須重新選擇參數，需重新做實驗，直到實驗出現再現性為止。因本研究屬於多重品質特性，因此，需利用 SPSS 作主成份分析，並與結合灰關聯法，以找出具有能同時滿足多重品質特性之最佳參數組合。

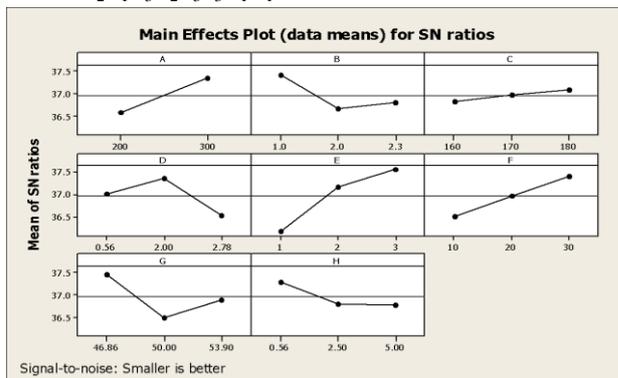
參、結果

一、實證分析

本次研究蒐集為期三個月作業時間的數據，以內側直交表 $L_{18}(2^1 \times 3^7)$ 、外側直交表 $L_9(3^4)$ 進行十八組實驗，每組實驗皆做九次，每一筆數據都是印完 30 片玻璃，再將玻璃放至 140°C 的烤箱烘烤一小時後取出，再量測印刷玻璃的膜厚與鋸齒。基板溫度附著性好或壞，越高溫越緻密，在離子槍助鍍的情況下，250°C 比 350°C 好，較省能源；在沒有離子槍助鍍的情況下，350°C 比 250°C 好，因膜層較有緻密性。

二、單一品質特性分析

1. 鋸齒：運用 Minitab 針對鋸齒作單一品質特性分析，統整 SN 比的因子反應表，參見表四與繪製成因子反應圖見圖二。由表四可知，針對鋸齒單一品質特性時，各因子的重要排序依大到小分別為：E、G、F、D、A、B、H、C。SN 值越大越好，表示變異越小，在 8 個控制因子中，又以 E（脫泡機的時間）和 G（有色主劑的容量）最為顯著，最佳參數組合為 $A_2B_1C_3D_2E_3F_3G_1H_1$ 。



圖二 鋸齒單一品質特性 SN 比因子反應圖

表三 品質特性說明

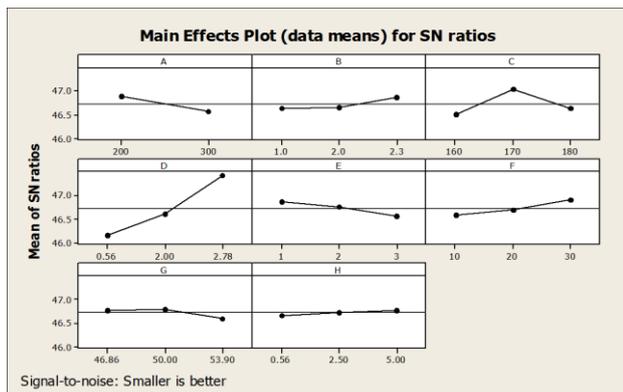
品質特性名稱	品質特性	品質特性說明	量測儀器
鋸齒	望小特性	$L \leq 0.2 \text{ mm}$	手持式數位顯微鏡
膜厚	望小特性	$< 20 \mu\text{m}$	數顯千分表

表四 鋸齒的因子 SN 比反應表

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	36.59	37.42	36.83	37.01	36.17	36.51	37.47	37.29
2	37.34	36.68	36.98	37.36	37.17	36.98	36.51	36.81
3		36.79	37.08	36.53	37.55	37.41	36.91	36.80
最大值-最小值	0.75	0.74	0.25	0.83	1.38	0.90	0.96	0.49
排序	5	6	8	4	1	3	2	7



2. 膜厚：運用 Minitab 輸入鋸齒數據，統整 SN 比的反應表及圖，見表五與圖三。由表五可知，針對單一品質特性為膜厚時，各因子的重要排序依大到小分別為 D、C、F、A、E、B、G、H。SN 值越大越好，表示變異越小，這 8 個控制因子中，以 D（溶劑容量）和 C（印刷刀速度）最為顯著，最佳參數組合為 $A_1B_3C_2D_3E_1F_3G_2H_3$ 。



圖三 膜厚單一品質特性 SN 比因子反應圖

三、多重品質特性-主成份灰關聯法

運用主成份灰關聯法分析數據，以找出具有能同時滿足

多重品質特性之最佳因子參數組合，其步驟分述如下。

- (一) 本次研究的品質特性為鋸齒與膜厚，皆為望小特性，將鋸齒和膜厚的實驗數據經由 SN 比望小特性的公式計算完，以正規化處理。
- (二) 先利用正規化後的實驗資料，計算出各品質特性間的相關係數矩陣 R 分子，為正規化後之品質特性行與行間的共變異數；分母為正規化後單一品質特性行的標準差 ($i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,p; k=1,2,\dots,p$)。相關係數矩陣見表六，再運用 SPSS 計算出主成份得點，如表七所示。

1. 計算灰色關聯度：

- (1) 針對各主成份得點計算差序列，並算出主成份得點之灰關聯係數 $\gamma(k, (k))$ ，如表七所示。
- (2) 利用主成份的灰關聯係數算出主成份之關聯度 Γ ，其公式為將各個灰關聯係數之數值代入公式中，以求得灰色關聯度 Γ ，見表七。灰色關聯度 Γ 之排序最大值者，為直交表內因子水準最佳組合；除直交表的組合之外，為了求整體之因子水準最佳組合，對各因子水準之平均灰色關聯度 Γ ，利用表八的反應表，找出製程之最佳組合為 $A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$ 。

表五 膜厚的因子 SN 比反應表

Level	A	B	C	D	E	F	G	H
1	46.88	46.63	46.51	46.14	46.85	46.58	46.77	46.67
2	46.56	46.66	47.03	46.61	46.76	46.68	46.79	46.73
3		46.88	46.62	47.42	46.56	46.90	46.60	46.77
最大值-最小值	0.32	0.25	0.52	1.28	0.29	0.32	0.19	0.10
排序	4	6	2	1	5	3	7	8

表六 相關係數矩陣

	正規化鋸齒	正規化膜厚
相關 正規化鋸齒	1.000	-0.423
正規化膜厚	-0.423	1.000



四、驗證

本次印刷個案研究在玻璃片的膜厚與鋸齒的品質特性皆屬望小型，根據驗證和現行的 SN 比差異，見表九，印刷玻璃片經確認後的參數組合見圖四。在膜厚方面，現行水準 $A_2B_2C_2D_2E_3F_2G_2H_2$ 的 SN 比為 46.66875db，而驗證水準 $A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$ 的 SN 比為 46.78359db，差異之間

0.11484db，有小幅度的改善；在鋸齒方面，現行水準 $A_2B_2C_2D_2E_3F_2G_2H_2$ 的 SN 比為 36.6314db，驗證水準 $A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$ 的 SN 比為 45.83568db，差異之間 9.20428db，有顯著的改善。因此，本次研究利用主成份灰關聯法，在膜厚與鋸齒望小品質特性上有顯著改善，確認 $A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$ 可做印刷製程的參數設定。

表七 主成份得點、灰關聯係數與灰色關聯度

實驗編號	主成份得點	灰關聯係數	灰色關聯度
1	0.32415	0.81275	0.81275
2	-0.02727	0.98414	0.98414
3	0.07231	0.95363	0.95363
4	-0.54064	0.72117	0.72117
5	-0.17509	0.89063	0.89063
6	-2.76121	0.33452	0.33452
7	-0.49770	0.73766	0.73766
8	-0.61408	0.69462	0.69462
9	1.22282	0.53220	0.53220
10	-0.61697	0.69361	0.69361
11	-0.38546	0.78454	0.78454
12	-0.00495	1	1
13	1.55183	0.47249	0.47249
14	-0.66928	0.67591	0.67591
15	1.47958	0.48442	0.48442
16	0.07505	0.95184	0.95184
17	0.70022	0.66586	0.66586
18	0.86668	0.61654	0.61654

表八 各因子水準的平均灰關聯值反應表

	A	B	C	D	E	F	G	H
水準 1	0.740	0.871	0.731	0.666	0.660	0.663	0.810	0.698
水準 2	0.705	0.596	0.782	0.783	0.806	0.703	0.650	0.676
水準 3		0.699	0.653	0.717	0.701	0.800	0.707	0.792
差異	0.035	0.274	0.129	0.116	0.145	0.137	0.160	0.115
排序	8	1	5	6	3	4	2	7

表九 現行水準和驗證水準的比較表

品質特性	水準	現行水準	驗證水準	改善量
		$A_2B_2C_2D_2E_3F_2G_2H_2$	$A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$	
膜厚 (SN 比)		46.67	46.78	0.11
鋸齒 (SN 比)		36.63	45.83	9.20





改善前



改善後

圖四 印刷玻璃片改善前後差異

肆、結論

本次研究主要是運用田口方法應用於印刷工廠個案探討，就單一品質特性而言，以鋸齒望小品質特性，則脫泡機的時間及有色主劑的容量影響較大，最佳參數組合為 $A_2B_1C_3D_2E_3F_3G_1H_1$ ；以膜厚望小品質特性，則印刷刀的速度及溶劑的容量影響較大，最佳參數組合 $A_1B_3C_2D_3E_1F_3G_2H_3$ 。田口式實驗設計法，可有效的節省實驗成本與時間，運用主成份灰關聯法獲得多重品質特性之最佳參數組合為 $A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$ 。在印刷製程中，除了印刷刀壓力為影響印刷品質主要因子外，其次分別是有色主劑的容量、脫泡機的時間及印刷刀的傾斜角度。結合主成分灰關聯法，以主成份分析法解決品質特性值之間關聯性，更以灰色關聯度方法，考慮兩個或兩個以上的主成份，可以得到最佳的因子組合。為了增加未來印刷品質優質性及穩定性，未來可以增加考慮，如，回墨刀的壓力及速度，甚至可以針對不同基板或是不同的有色主劑、不同網目數做為研究方向。同時地，增加多重品質特性考慮，如，百格測試與鉛筆硬度測試，找出印刷製程最佳參數組合，以提昇印刷品質，增進實務上效益。

參考文獻

朱恭德（2007）。灰關聯分析應用於超音波多重品質特性之最佳化製程。逢甲大學機械工程研究所碩士班。
 林士福（2006）。灰關聯分析應用於薄膜製程最佳化之研究。逢甲大學工業工程系統管理學系研究所碩士班。

林行建（1999）。印刷設計概論，視傳文化事業有限公司，台北。
 林得發（1983）。現代印刷設計，藝風堂出版社，台北。
 胡穗樂、吳昭輝（2014）。鋁合金件含浸製程技術開發研討。高雄海洋科學報，第28期（2014/03/01），25-40頁。
 徐世輝（2006）。品質管理，高立圖書有限公司，台北。
 陳宏佳（2009）。應用主成份田口法與灰關聯分析進行多重品質特性之最佳化參數設計-以壓鑄品製程為例。國立高雄大學亞太工商管理研究所碩士班。
 黃士滔、楊婷詒，（2014）。運用ANP與階層式灰關聯探討未分類其他金屬製品製造業之供應商評選。工程科技與教育學刊，11卷1期，113-130頁。
 黃得誌（2007）。結合灰關聯分析法與田口法於多目標數控車削參數最佳化研究。大同大學機械工程研究所碩士班。
 黎正中（1993）。穩健設計之品質工程，台北圖書有限公司。
 魏郁婷（2014）。氣候變遷下稻作生長期之變化與產量模擬，國立中央大學土木工程研究所碩士班。
 蘇俊豪（2009）。應用田口法與灰關聯分析於面光罩快速原型系統之參數最佳化。國立臺灣科技大學自動化及控制研究所碩士班。
 Chen, C. B., Lin, C. T., Chang, C. W. and Ho, C.P. (2000). Grey Relation for Solving Multi-quality Characteristics Problems of Taguchi. Journal of Technology, 15(1), 25-33.
 Phadke M.S. and Dehnad, K. (1987). Optimization of Product and Process Design for Quality and Cost. ASQC Quality Congress Transactions, 330-334.



Applying Principal component and Grey relational analysis to the Optimum Parameter Design for Printing

Yu-Ling Yeh¹, Chin-Yao Low²

¹Department of Marketing and Logistics, Nan Kai University of Technology

²Department of Industrial Management, National Yunlin University of Science and Technology

Abstract

This research was studied for the printing by baking ink on the substrate of glass size is 117 x174 x1.1 inches. There are eight control factors, ink mixer speed, ink mixer time, pressure of the printing blade, the inclination angle of the printing blade, speed of the printing blade, the capacity of the solvents, the capacity of the ink, and the capacity of the hardener. The circumstance factors of the temperature and humidity were involved in this study. The analysis method of principal component and grey relational was applied to the printing experiment. The smaller-the-better quality characteristics which are jaggging and film thickness were considered. The digital dial gauge and Dino lite were measured in order to calculate its signal-to-noise ratio. The result was shown that the optimal parameters for the printing with multi-quality characteristics were $A_1B_1C_2D_2E_2F_3G_1H_3$. The confirmation experiment indicated that the printing by baking ink was improved significantly.

Keywords: taguchi methods, multivariate quality characteristics, printing, principal component analysis, grey relational analysis

