為了達到提升產品設計及製程品質之目的，近年來工業界常用六標準差結合實驗設計之方式進行專案的改善計畫。以本書第 16 章中所介紹的「六標準差在提升工業產品品質之應用」為例，即利用六標準差管理之專案改善程序 (DMAIC) 對工業用紙的製程進行現況分析，並利用田口方法找出影響製程品質的關鍵因素後，再確認該製程的最佳設定條件。而其中「實驗設計」正是整個改善過程中的精華及重點所在。因此，我們在最後一章中特別增加實驗設計方法的介紹，內容包含了傳統之全因子、部分因子實驗設計及田口方法。其取材自作者擔任長春化工公司六標準差顧問及教授富士康集團實驗設計課程時的講義，以循序漸進的方式，將實驗設計的主要觀念及範例作深入淺出的介紹。從事實務者可擷取其中精華作為應用上之參考。

著作權所有 侵害必究

17.1 品質改善的四個觀點

本節先介紹品質改善的四個觀點 (perspectives)。產品之品質改善範疇如同江河之上、中、下游及源頭，有下列四大領域：

1. 下游之觀點：即顧客眼中的品質，如：購買汽車時我們會考慮汽油每公升之用量、車體零件的噪音、故障率、環境污染等因素。此領域所用到的品質技術為品質機能展開 (quality function deployment)。
2. 中游之觀點：即製造品質係以工程圖中之規格為依據。此領域所用到的品質技術為統計製程管制 (statistical process control)。
3. 上游之觀點：即設計品質係考慮工程技術之穩健性。此領域所用到的品質技術為本章所介紹的實驗設計 (design of experiments)，可使產品在研發後能達到穩健設計 (robust design) 之目的。
4. 源頭之觀點：即技術品質係考慮工程技術之穩健性。此領域之技術是指在產品規劃研發前即須具備之物理及工程技術，例如生產彈簧 (spring) 的廠商必須知道產品品質係服從虎克定律，但本領域之技術並不在本章討論的範圍內。

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

17.2 實驗設計之專有名詞

本節先將實驗設計常用的專有名詞簡略的定義如下，詳細內容將在後續的章節中作進一步介紹。

1. CRD（completely randomized design，完全隨機化設計）
   是一種完全隨機化的實驗設計。
2. Full Factorial Design（全因子設計）
   考慮所有可能因子與水準排列組合的設計方式。
3. Fractional Factorial Design（部分因子設計）
   假設一些交互作用項不會發生情形下，進行因子指派之設計方式。
4. Latin Square（拉丁方格）
   在此設計下，每一個因子的水準僅能在行或列中出現一次。
5. Yates' Notation & Algorithm（葉氏符號與計算程序）
   葉氏符號係傳統實驗設計因子組合的表示法，藉由葉氏計算程序可找出原因。請參閱第 17.6 節之介紹。
6. On-line vs. Off-line Quality Control（生產線上 vs. 生產線外的品質管制）
   即統計製程管制與實驗設計之比較。請參閱圖 17.6 田口式品質工程之介紹。
7. System Design（系統設計）
   與生產原料、零件、儀器、製程參數的選擇有關。
8. Parameter Design（參數設計）
   探討實驗設計中噪音或雜訊因子所造成影響的研究。
9. Tolerance Design（允差設計）
   探討工程規格容差、產品與製程參數的設定。
10. S/N Ratio（信噪比）
    可控因子影響（信號）對噪音或雜訊因子的比值。
11. Orthogonal Array（直交表）
    一種使得相關係數矩陣除主對角線外的元素皆為零之設計。

著作權所有 侵害必究

華泰文化 HWA TAI PUBLISHING

12. Outer Orthogonal Array（外側直交表）
    用來辨識雜訊因子組合的參數設計。
13. ANOVA（ analysis of variance，變異數分析）
    變異數分析為資料分析中常見的統計模型，主要為探討連續型資料之應變數與離散型資料之自變數間的關係。
14. Experimental Units（實驗單位集合）
    所有實驗材料組成的最大集合。
15. Treatment（處理）
    對實驗材料所進行的各種安排與處置。
16. Sampling Units（抽樣單位集合）
    實驗單位的部分子集。
17. Experimental/Sampling Errors（實驗誤差／抽樣誤差）
    一種對於變異程度的度量。
18. Randomization（隨機化）
    使用隨機亂數的方式進行實驗。
19. Replication（重複次數）
    特定因子水準組合在實驗中重複進行的次數。
20. Factor（因子）
    製程的輸入參數，會對製程造成一定影響，如可控因子及噪音。
21. Level（水準）
    個別因子的設定或條件。
22. Run（實驗次數）
    不同條件下，實驗進行的次數。
23. Quality Characteristic（品質特性）
    反應變數（產出結果）。
24. Interaction（交互作用）
    (1) 不同於個別因子所產生的作用，是兩種因子共同作用對實驗對象所產生的影響。
    (2) 主效應 (main effect) vs. 交互作用。

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

25. DOF（degree of freedom，自由度）

獨立訊息的個數。

26. Resolution（解析度）

定義實驗關係式中最少之字數，解析度愈低，實驗愈飽和。

17.3 完全隨機化設計及變異數分析

傳統實驗設計的方法有多種，每種設計方法依實驗材料性質的不同而異，若採用完全隨機化設計 (completely randomized design, CRD) 則必須考慮實驗材料之均質性 (homogenity)，使實驗材料間的變異減小以降低實驗的誤差，若實驗材料為異質性 (heterogenity)， CRD 方法便不適用。此時就須考慮採取第 17.8 節的拉丁方格設計 (Latin square design) 或完全隨機化區集設計 (randomized completely blocking design, RCBD) 的方式進行，方可使實驗誤差減小。 CRD 設計的數學模式如下：

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

其中， Y_{ij} 為反應變數， α_i 為主因子的效應，殘差值 ε_{ij} 須服從常態分配 $\varepsilon_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$，CRD 實驗之佈局 (layout) 如表 17.1 所示。

❑表 17.1　完全隨機化設計的實驗佈局

i \ j	1	2	3	⋯	n	$Y_{i\cdot}$	$\overline{Y}_{i\cdot}$
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	⋯	Y_{1n}	$Y_{1\cdot} = \sum_{j=1}^{n} Y_{1j}$	$\overline{Y}_{1\cdot} = \frac{\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}}{n}$
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	⋯	Y_{2n}	$Y_{2\cdot}$	$\overline{Y}_{2\cdot}$
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	⋯	Y_{3n}	$Y_{3\cdot}$	$\overline{Y}_{3\cdot}$
⋮			⋮			⋮	⋮
a	Y_{a1}	Y_{a2}	Y_{a3}	⋯	Y_{an}	$Y_{a\cdot}$	$\overline{Y}_{a\cdot}$
						$Y_{\cdot\cdot} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{n} Y_{ij}$	$\overline{Y}_{\cdot\cdot} = \frac{Y_{\cdot\cdot}}{N}$，其中 $N = an$

著作權所有 侵害必究

華泰文化 HWA TAI PUBLISHING

由於 CRD 設計係檢視主因子對反應變數是否存在顯著的影響，我們一般均採用變異數分析 (ANOVA) 方法分析來自完全隨機化設計的資料（詳如表 17.2），其 ANOVA 方程式 (equation) 可表示如下：

$$Y_{ij} = \overline{Y}_{..} + \left(\overline{Y}_{i\cdot} - \overline{Y}_{..}\right) + \left(Y_{ij} - \overline{Y}_{i\cdot}\right)$$

$$\Rightarrow \sum_i \sum_j \left(Y_{ij} - \overline{Y}_{..}\right)^2 = \sum_i \sum_j \left(\overline{Y}_{i\cdot} - \overline{Y}_{..}\right)^2 + \sum_i \sum_j \left(Y_{ij} - \overline{Y}_{i\cdot}\right)^2$$

$$\Rightarrow \qquad \text{SST} = \text{SS}_{\text{trt}} + \text{SSE}$$

❑表 17.2　CRD 變異數分析表

變異來源	自由度	平方和	均方和	F
處理方式	$a-1$	$\sum_i \sum_j \left(\overline{Y}_{i\cdot} - \overline{Y}_{..}\right)^2$	$\text{MS}_{\text{trt}} = \text{SS}_{\text{trt}}/(a-1)$	$\text{MS}_{\text{trt}}/\text{MSE}$
誤差	$N-a$	$\sum_i \sum_j \left(Y_{ij} - \overline{Y}_{i\cdot}\right)^2$	$\text{MSE} = \text{SSE}/(N-a)$	
合計	$N-1$	$\sum_i \sum_j \left(Y_{ij} - \overline{Y}_{..}\right)^2$		

現將 CRD 變異數分析之應用，舉例說明如下：

一間造紙工廠希望能改進紙張的強度，現有五種不同的木材濃度，分別是 5%、 10%、 15%、 20% 與 25%。在每一種濃度水準之下，我們取五個觀察值（觀察值為紙張的強度）。現將實驗設計執行的結果整理成下表：

濃度	觀察值					$Y_{i\cdot}$	$\overline{Y}_{i\cdot}$
	1	2	3	4	5		
5%	7	7	15	11	9	49	9.8
10%	12	17	12	18	18	77	15.4
15%	14	18	18	19	19	88	17.6
20%	19	25	22	19	23	108	21.6
25%	7	10	11	15	11	54	10.8

$Y_{..} = 376,\ \overline{Y}_{..} = 376/25 = 15.04$

著作權所有 侵害必究

華泰文化
HWA TAI PUBLISHING

由於影響紙張強度的木材濃度有五種水準，即五種處理方式 (treatment)，故其假設檢定可表示如下：

$$\begin{cases} H_0：\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 \ (i.e.\ \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 0) \\ H_A：至少有一\ \alpha_i \neq 0 \end{cases}$$

藉由統計計算或 Minitab 軟體，我們可求得變異數分析表如下：

變異來源	自由度	平方和	均方和	F
處理方式	$5-1$	475.56	118.89	14.75
誤差	$25-5$	161.20	8.06	
合計	$25-1$	636.96		

其中，$\text{SS}_{\text{trt}} = \sum_{i=1}^{5}\sum_{i=j}^{5}\left(\overline{Y}_{i\cdot} - \overline{Y}_{\cdot\cdot}\right)^2 = 475.56$

$$\text{SSE} = \sum_{i=1}^{5}\sum_{i=j}^{5}\left(Y_{ij} - \overline{Y}_{i\cdot}\right)^2 = 161.20$$

$$\text{SST} = \sum_{i=1}^{5}\sum_{i=j}^{5}\left(Y_{ij} - \overline{Y}_{\cdot\cdot}\right)^2 = 636.96$$

由於 F 分配之臨界值 $F_{0.01,4,20} = 4.43$（查附表 17.1），而上述 ANOVA 表中的 F 值 $= 14.75 > 4.43$，故可推論木材濃度對紙張強度有顯著之影響。至於木材濃度之工程規格應如何制定方能使紙張強度的品質達到最佳狀態，則詳見第 17.4 節中多重比較之介紹。

17.4 多重比較（ANOVA 分析之事後比較）

為了使工程師在執行變異數分析後，能更進一步制定出木材濃度之工程規格及其目標值 (nominal dimension)，我們將 Duncan multiple range test（鄧肯多重範圍檢定）進行的步驟條列如下：

1. 對 $H_0：\mu_1 = \mu_2 = \cdots = \mu_l$，進行 F 檢定。
2. 若拒絕 H_0，則將 $\overline{Y}_{1\cdot}, \overline{Y}_{2\cdot}, \cdots, \overline{Y}_{a\cdot}$ 由小而大排列。

著作權所有 侵害必究

華泰文化 HWA TAI PUBLISHING