

統計上的實驗設計(DOE)在6 Sigma的角色

◎李麗女

前言

現在6 Sigma 已成為眾所周知的一個有效的方法以達到產品及服務的品質優質化，其需要利用統計上的思維以及管理上和操作上的作業以達到基本上的改善。本文以非數學的用語解釋所看到的實驗設計（DOE）之理論及技巧如何在6 Sigma 上展開，也概述從過去的品質改善上實驗設計(DOE)如何地被使用，以及在6 Sigma上的重要性角色而達到最高峰，實驗性的設計應用在過去數年以及未來其範圍的變遷令人相當重視，並將對一個組織機構追求卓越的品質提供6 Sigma有利的重要性之願景。

以6 Sigma做為一項品質改善動機現在已為眾所周知了，其有日漸增多的文獻說明它的理論、應用以及對品質專業的影響，當個人的訓練普及以及承諾於6 Sigma有所成長時，在6 Sigma所展開的方法論獲得重視將對它的應用產生有效用性的結果。本文將簡單概述6 Sigma所使用的主要工具，以引導的方式解釋在實務統計上的實驗設計所扮演的角色。自從6 Sigma的早期，實驗設計已經由品質實務者使用了數個版別了，之後經過彙總及比對，伴隨著每一個架構之實驗性的設計及分析，其動機及方法日受重視，可看出使用“改善”此一特定的形式通常是影響實驗性的設計應用之動力，此一重要的統計性工具，在未來於工業界及商業界的可能發展，在結論時將加以討論。

6 Sigma及實驗設計

現在因6 Sigma之經營乃取自專案執行的形式，一般是以階段的方式進行，即為眾所周知的定義--度量--分析--改善--管制或DMAIC。一般而言，在專案定義的階段之後，主要的流程特性乃以度量階段及分析階段加以界定並標準化，緊接著為改善階段其使一個製程經由改善而達到較佳的績效，最後為管制階段其目的是要監控並維持利益。這些階段之共同脈絡都使用統計的思維(6,7)，為了真實性及事實性其中被度量的資料是一項不可或缺的代表，由表1也可看出其彙總了DMAIC各個階段所需要的主要工具。

表 1

Summary of Major Six Sigma Tools

Define

1. Project selection
2. Impact and benefit analysis
3. Project roadmapping

Measure

1. CTQ (critical-to-quality) identification
2. Quality function deployment
3. Process mapping
4. Failure mode and effects analysis
5. Target and specification formulation
6. Quality benchmarking
7. Descriptive statistics
8. Measurement system analysis

Analyze

1. Capability analysis
2. Short-term and long-term performance indices
3. Hypothesis testing



4. Confidence intervals
5. Sample size determination
6. Identification of causes of variation
7. Multi-vari analysis
8. Analysis of variance
9. Correlation analysis
10. Regression analysis

Improve

1. Design of experiments framework
2. Factorial designs
3. Fractional factorials
4. Balanced block designs
5. Nested designs
6. Response surface designs
7. Mathematical modeling
8. Evolutionary operation

Control

1. Control plans
2. Tolerancing
3. Process monitoring and control
4. Mistake proofing
5. Team building
6. Documentation
7. Quality systems

詳細的內容及DMAIC工具的應用順序，各個組織機構以及各個專案可以各不相同，但是它們的整體性及邏輯的流程才是使得6 Sigma的全面性影響成為可能，這是相當真實的，因為有大量的量測及分析活動提到在改善階段影響到更改的流程及最佳化，因為統計性的實驗設計建構了此一重要階段的大部份，因此簡略地審視在過去所使用的改善方法以改善品質是相當有用的。

自從Fisher將實驗設計交到統計學家的手中以有效地研究其複雜的系統已超過了70個寒暑(8)，但是此一有效的工具，有時候會令人覺得並未在工業界好好地被推廣，其“一次一個因子”就是指一般的實驗大致上是該如何地被執行。Shainin的障礙排除技術已開發超過20年了，在1970年代之

前大受歡迎(9,10)，經由Box Hunter及Hunter在學術上及工業上多年的努力於教育宣廣，已使得它們具有發展性的潛力，而造就了BH²此一在應用性的實驗設計(11)之家族性名稱。Box及其他的統計學家在1980年代很快地轉移它們的注意力到Taguchi方法(12-15)，為了實驗及穩健的設計(16-17)，他們以統計的嚴厲性詳細地檢查並改善食譜的程序效能。Taguchi方法在品質專家和學術圈之爭論一直持續到1990年代，例如參考書籍(18,19)，直到6 Sigma因美國的領導品牌公司之成功故事(2,20)脫穎而出才使得其較為黯淡無光。

實驗設計的發展，為了品質目的可以用口號的方法論審查，品質實務者及經理人已面對了近數十年，表2列出這些方法論的全貌之發展的時間線，所列出的年份是指該方法論或方法受歡迎亦即被接受的確定證據之大約時間，在考察不同階段的5W1H時，需注意下列事項：

1. 一已知的方法論之存在或發展及宣廣，在所顯現的指定年份之相當一段時間前後已產生了(實驗設計在1950年代及1960年代已被工業界廣為使用，如在參考書籍(21,22)之著作上有出現過;Technometrics期刊提到，實驗設計理論上的及應用上的重要技術在1959年已開始被執行了)。
2. 這些方法論是決不互相地排斥。
3. 後一項的方法論未必是優於先前的方法論。
4. 不願排除所有的先前之紀錄，將後項的Focus/Users/Environment/Application等都包含進來。

回溯該一發展至今，令人注意到不只是實驗設計日俱重要，而且其擁有權也有令人好奇的轉變，假如發展的



表 2

Approximate Chronology of Applied Design of Experiments

When(Circa)	How("Label")	Why(Focus)	Who(Users)	Where(Environment)	What(Application)
Traditional	One factor at a time	Study known factors	Scientists	Laboratories	Natural Processes
1975	Shainin techniques	Search for unknown factors	Technicians	Shopfloor	Industrial processes/products
1980	BH ² methodologies	Improvement performance level	Statisticians	Production	Existing processes
1985	Taguchi methods	Reduce performance variation	Engineers	Operation	New processes/products
1990	Robust design	Minimize cost	Managers	Development	New system
1995	Six Sigma	Maximize profit	CEOs	Company-wide	Transactions
2000	"Post Six Sigma"	Expand market	Stakeholders	Business	Values

每一階段可以一個領導人做代表，則爭議就可被漠視，如Ronald Fisher以數理統計的觀點詳述實驗設計；Dorian Shainin利用統計的及機率的理論加以開發連技術人員都能使用的版本；George Box針對應用統計人員及工程師將理論轉換為實務的方法；Genichi Taguchi為實務人員簡化主題並將它雕塑為更穩健的設計，其目的是要吸引經理人員的注意，而Mikel Harry包裝此一技術以贏得以基礎線為導向的CEO們的信任。再次地，以使用者為分類是最佳的方法，但彼此並不互斥且無凌越性。以歷史性的背景為出發，下列各段討論將闡明一些主要的統計程序，而其在品質改善的研究上曾受到相當的寵愛與重視。

研究的品質

品質的概念可以各種不同的方式表示，其涵蓋面從實務上的“使用上的適合性”(23)到哲學上的“社會的損失”(24)，但是對在生產工廠或一個企業的辦公室裡的人，一項已知的品質要求可以經由一套的規格加以表示，例如一件成型的料件y要求其尺寸規格在 S_L 及 S_U 之間，其分別代表規格的下限公釐值及規格的上限公釐值；在另外一種情況下，y可能是對一項客戶抱怨反應，提供一個解決方案回覆電話所需的時間，而其要求不可超過 S_R 小

時。事先隨時做好充分的研究，以建立那些 S_L, S_U, S_R 的最適宜數值，以能符合終端客戶最終的真實期望是可理解的。

不管品質使用的實質準則及達到規格的方法為何，在貨物及服務產生期間，基本上產生的所有品質問題只起因於一個原因：變異，假如在真實世界上沒有變異存在，則將完全沒有任何的品質問題，因為每一個單位的貨物或每一項提供的服務將完完全全具有相同的可預測之特性值，因此品質問題的處理需要有充分的變異管理。為了簡化，從現在起這裡所指的變異只限定在一個製造性的產品之特性，雖然本文也相當地適用於服務業的運作。

偵測變異的品質及預防的品質

想起品質保證的傳統方法為測試與檢驗，因為這樣的一個程序只是偵測出不良的產品單體以防止它們往下游流到下一個製程或客戶手上，其所達成的只是損害的管制，但並未產生所謂的品質“改善”的真實性意義，一個較佳的方法是往上游搜尋，注意生產此一產品的第一個地方之製程，因此引出兩種主要的統計監控及管制的工具：製程能力分析及製程管制圖。

在製程能力分析裡，分析一項產品的品質特性質y的度量值之一般性的水



準及變異，一項製程能力指數(CPI)度量下的變異範圍可以下列公式敘述處理：

$$CPI = \frac{\text{允許的變異數}}{\text{實際的變異數}} \quad \dots(1)$$

基本上其為“客戶的聲音”(以規格值反映出來)對“製程的聲音”(由量測資料值反映出來)之比值。假如 y 的平均值 μ 及標準差 σ 具有如圖1所示的變異全距--在常態分佈上通常代表三個標準差--橫跨的 μ 值落在離最近的規格界限之相當一段距離，則該製程可說具有符合要求的能力，此一情況之CPI值可由下式(25)計算出來：

$$C_{PK} = \min\left\{\frac{\mu - S_L}{3\sigma}, \frac{S_U - \mu}{3\sigma}\right\} \dots(2)$$

C_{PK} 值可建議製程是否必需再進一步改善，在6 Sigma之前，一般上都要求至少是1.33，以提供一個充分數值防止超出規格值貨品的產生。

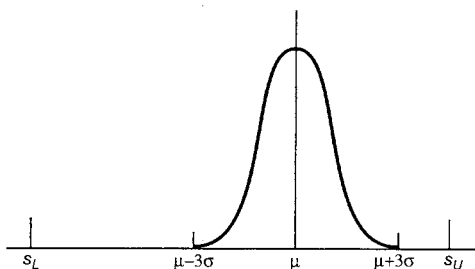


圖1 Process capability analysis

防止變異的另一方式是採取統計製程管制圖的形式，其以時間函數監控製程的情形，需要管制圖是因為只要 μ 和 σ 維持在它們的個別值則一項製程即視為有能力的，假如 μ 或 σ 有系統性的改變，發生不被期望的製程行為，因此緊接著會有不良的產品單體。因此分別執行製程能力研究及管制圖以

靜態的及動態的方式查驗製程情形，並一起提供一套機制防止不良的產品，這些技術在理論上的及實務上的細節於一流的書籍如參考資料(25)，和時常在品質工程上的文章普遍可以取得。

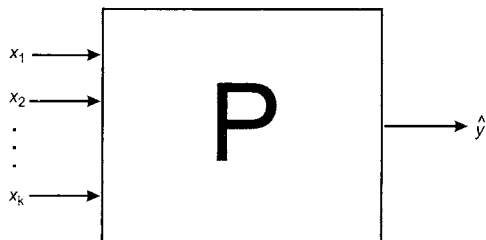


圖2 Factors and response in a process

主動介入品質

雖然避免製程品質的降低是維持品質水準的基本要求，但顯而易見地，只是簡單地執行一項製程能力分析或是畫出一個管制圖並不能帶來任何的改善，因為這樣的活動只是被動地描繪在製程的終端輸出之結果無法觀察到什麼東西，資料的分析將提供輸出結果的情形滿意與否，一項“合格”或“不合格”的決定於焉誕生。

必須了解到即使輸出之結果，以某些準則--例如，在統計的管制下“由管制圖判定為符合統計的管制”--而認定為令人滿意的，其仍然無法顯示出此一特殊的製程是否能勝任最佳的績效。理想的一個P管制圖顯示製程是在統計的管制之下，書籍上的程序並不會干擾到製程；實際上都忽略了這個事實，即製程在運作時仍有一定比例的不符合性的產品而其卻等於管制圖中心線的值--不做任何事意味著將不會有任何的改善。

假如有輸出之結果被認定是不令人滿意的情形，則只在製程的輸入之投

入點做一些改變才有可能獲得改善；不管情形如何輸出之結果或反應值 y 可達到最佳化的值，只要透過一項之投入 X_1, X_2, \dots, X_k ，其中 $i, i=1, 2, \dots, k$ 為可控制的變數，如溫度、壓力、流速及物料の種類等等乃是指因子，這些因子的調整或最佳化的重要性的要求為輸入之投入--輸出之結果的聯結 $\hat{y}=f_c(X_1, X_2, \dots, X_k) \dots (3)$ 是可理解的，其中 y 為在函數關係 f_c 中已知每個 X_i 值所預測出的反應值。

更現實地，一項製程的機制為如圖3所示，其中 n_1, n_2 等等為不可控制的變數，一般而言是指雜訊，這樣的變數趨於無數個的、不可認定的以及不可量測的，其例子有原料的變異、因為機械磨損之變異以及因為環境的因素如週遭的溫度、相對溼度、振動和空氣粒子。當受管制的變數維持固定不變，透過觀察 y 的變異數可以顯示出雜訊的影響，因此實際的反應值 y 可以被視為是一個決定性的要素 \hat{y} 和一個機率性的要素 e 的合成體，後者為雜訊因子的函數 $f_n: y = \hat{y} + e \dots (4)$ ，其中 $e = f_n(n_1, n_2, \dots) \dots (5)$ 。

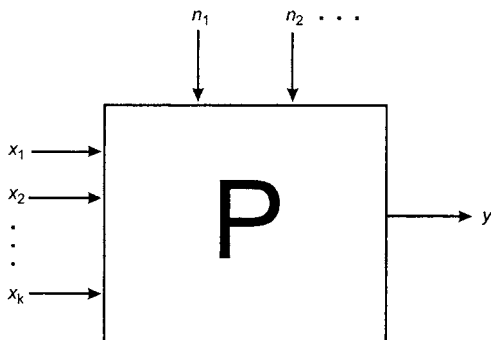


圖3 Response in the presence of noise

因為大部分的製程多是太複雜或是不被了解以致無法從科學或工程的原理加以分析，而必須使用實驗的技

術以建立等式(3)，傳統的“科學性的”方法乃一次只改變一個因子，此種實驗技術一般而言是沒有什麼效用的，因為它不只是需要大量的觀察值，它也將無法顯示現存因子間之交互影響，直到1920年代R. A. Fisher 及其它人才正式地建立起現在一般人所說的實驗設計(DOE)之原理及程序，才使得調查人員得以有效率的及以有效用性的態度，務實地研究“黑箱”系統。

接下來的發展為實驗設計的技術導引出各種不同目的之應用，例如因子的篩選(即在一大堆的因子中確認少數的重要因子)，製程行為的特性化(例如發展出轉換的函數，亦即等式(3)的輸入之投入--輸出之結果的數學模式)，以及製程績效之最佳化(例如，透過回應曲面法的使用)(27-30)。

有數個理由支持實驗設計(DOE)認為其是相當有用的：

1. 與其維持現狀，它的目的是要改善一項製程或是一項產品的操作以獲得較佳的績效，並以正確的工具達到改善的目的。
2. 在實際之實驗程序背後，已建立一套數學的基礎根據。
3. 因此，在已知的資訊它需要最少的實驗結果；或是相反的，在一已知的資料它能產生最多的資訊；這就可以節省實驗的資源及時間。
4. 它的資料有助於更易於了解分析的技術及直覺上的解釋；今日因有大量的套裝軟體可以使用，對資料的分析相當地方便。
5. 對研究主題的特性並不需要任何先前的資訊，雖然這些知識有時候可能有助於建構實際上的實驗設計。
6. 一項實驗設計的研究所產生的結果，通常可以經由確認運作加以印證，而且任何改善成果的獲得完全不需要任

表 3

Process Monitoring vs. Design of Experiments for Quality		
Feature	Processing Monitoring	Design of Experiments
Approach	Preventive	Pre-emptive
Behavior	Defensive	Proactive
Criterion	Conformance	Improvement
Deployment	Downstream	Upstream
Execution	Passive observation	Planned intervention
Format	Loss avoidance	Value creation
Human input	Procedures	Communication
Information used	Routine	Generated
Justification	Damage control	Critical to quality
Key parameters	Known	Often unknown
Location	Production floor	Cross-function
Medium	Descriptive statistics	Transfer function
Nature	On-line	Off-line
Objective	Control	Optimality
Problems	Detected	Studied
Query	Around operating point	Beyond existing conditions
Requirements	One-off setup	Dedicated resources
Solutions	Remedial	Fundamental
Target output	Stable	Changed
Users	Individuals	Teams
Validity	Specific lines	General operation
Working	Rule-dependent	Knowledge-based
X'pected gains	Incremental	Quantum
Yield	Sustained	Enhanced
Zero defect	Unlikely	Approached

何的資本支出；因此實驗設計可以避免為了解決問題而需要昂貴的技術性方法。

為了有效使用字母的字義，表3彙總製程監控的品質及實驗設計的品質間之差異性，其以一個被動的方法及一個主動的方法以區別兩者之間的差異乃相當的清楚。在6 Sigma中，實驗設計在印證要因關係上及確認“重要的少數”因子上特別地有用，故以其來推動做製程的研究；多變異的研究也同樣地使用於6 Sigma以確認製程變數，而其效用乃以執行設計的實驗加以印證。

統計學家的實驗架構

在實驗設計真正而主要地被化學工程師(26,27)所採用而使用於工業界，以做為製程的特性化及改善已有數十年了，George Box在ICI上班即注意到，搬到美國後他仍繼續於開發有用的理念及程序以解決工業上的問題，Box，Hunter及Hunter即BH²之複雜的書本，成為想要以務實的方式使用實驗設計之形形色色的統計學家及非統計學家們的一本聖經；BH²呈現出的主題乃按照科學性的調查精神，強調反覆的歸納性--演繹性之推論的製程以及展示連續的實驗策略之益處。

在六〇年代及七〇年代期間，實



驗設計及其所需要的技術，如為了製程的描述、產出的預測及投入的控制，使用回應曲面法以取得等式(3)製程的輸入之投入--輸出之結果的關係，目的是為了引導回應往所期望的值或極端的值(亦即最大值或最小值)方向走，不可控制的或未知的因子(即雜訊)的影響以 e 做代表，一般而言皆假設其平均值0且常數的變異數 σ^2 之常態的及均一的分佈，圖4已描繪出，其觀察的輸出之結果可列為 $y = \hat{y} + e \dots (4)$ ， $e \sim NID(0, \sigma^2) \dots (6)$ ，因此等式(3)~(6)形成了傳統的基礎，而為統計學家有興趣調查的一項主題：如在整個BH2的發表乃植基於這個基礎。

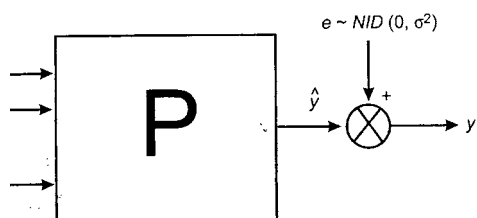


圖4 Statistician's experimental framework

SHAININ的實驗設計

雖然可以從統計學家取得正式的實驗設計及分析之架構，同時仍有很多人致力於開發直覺的但具統計性可靠的實驗技術以適用於實驗導向之工業界，特別是透過Dorian Shainin的諮詢業務:這就是眾所周知的Shainin系統的實驗設計(9,10,31)。Shainin的調查計畫特別地適合於界定出在產品或製程行為之已知問題，而且在系統性的搜尋變異或不合性之原因，大量地使用硬體元件之比較性研究；很多一般性的統計製程管制的原則及程序也都合併在一起以執行製程監控。

Shainin的技術優點為易於使用於

生產工廠，而且基本並不要求使用者理解基礎的機率理論或統計理論。雖然將傳統的因子設計包含進來但其並非是調查計畫的主體；事實上某些程序的效能已從正式的實驗設計(32)之觀點進行嚴厲的審查。Shainin實驗的推力主要是排除障礙，在大部分的例子裡，與其處心積慮地尋找任何突破性的改善，不如專注於將脫軌的產品或製程行為帶回可接受的常軌條件下。

TAGUCHI的實驗

為了解決問題及達到最佳化而需要實驗的技術是沒有地理上的界限，值得注意的是，當Box和他的合作者推動實驗設計此分析性的領域及Shainin致力於努力推展他的實務演繹法的同時，在Genichi Taguchi的影響下，日本也有新發展產生。Taguchi的品質方法在文獻上(12-16)多有討論到，因它與操作工程師及設計工程師的互動結果，導致他持有數項觀點與主流的統計學家的實驗設計有所不同：

1. 實驗設計太重要所以要留給統計學家研究：因此，工程師本身必須要能夠使用它以改善品質。
2. 品質必須是內建式的，因此實驗設計的研究(稱為參數設計)必須儘可能地在一項產品或製程構思之開始就執行完成。
3. 雜訊必須以主動的方式加以管理：既然變異是品質的對比，實驗設計也必須用於降低不可避免的雜訊之影響，因此也降低了變異。

在Taguchi的研究裡雜訊可能包括製程雜訊(如溫度或速度設定之偏差)以及產品雜訊(如在製造流程所使用的零件特性，每件零件間之變異)，它們也可能指一項產品所經歷的環境壓力，或只是產品元件長時間的衰減。不管

它的自然本質為何，Taguchi認為那些影響一項產品或製程的雜訊不可被視為是一項不可避免的災禍，因此處理雜訊標準以等式(6)中的一個不可避免的常數 σ_y^2 代替，透過實驗設計的努力以降低其值，如圖5所示，利用雜訊因子 n_1, n_2 等在一項實驗研究加以模擬，則反應變數 y 或是品質特性的平均值 μ_y 改變 y 的變數 σ_y^2 。

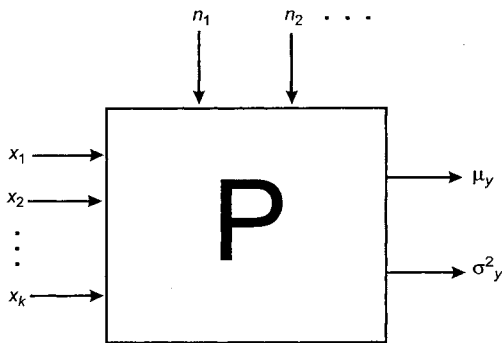


圖5 Taguchi's experimental framework

穩健的設計

當Taguchi與Bell實驗室的研發工程師一起工作，並以成本有效性的方式展現他的方法，可以做到內建式的品質及可靠度，並將物理的參數最佳化以使產品及製程免除製造上的及環境上的雜訊之不良影響，這個想法很快地引起穩健的設計或穩健的工程此一主題廣受歡迎，這需要程序步驟以發掘機會，針對 y 將 μ_y 推進到預定的目標，將 σ_y^2 降低到一個較小的值，而且儘可能地為了最低的成本方案以發覺 X_i 的組合值(33-35)。已知實務上的值，穩健的概念也已推廣應用到非製造性技術的製程上(36)。

穩健的設計之本質可以統計的觀點以下列方式做深入了解，當 σ_y^2 太大時，它通常是以一條分佈曲線反應代表

，其遠遠超出 y 的規格界限值，圖6的第一列圖已描繪出來，所有的圖都假設平均反應值位在公差的中點，假使不是這樣的情形，則通常可以適當地用傳統的實驗設計方法加以操縱，調整到所希望的位置。

直覺上，處理此一不可接受的總體品質績效的最直接方法就是100%的篩選，可以從整體中剔除在規格外之單體；但是只有當篩選完全是零錯誤，該方法才會是有效的，而它也需要相當多的行政管理、人力、機器資源以及時間等需求，而最需要注意的是，假如方法是破壞性的檢驗或測試，則100%篩選是不可行的。事實上篩選一點也不屬於品質改善的方法，即使它可以很成功地被執行完成，但仍需付出報廢或重工的代價--不管產品的價格升高了或是生產者的利益受損了！

降低變異的另一種選擇是利用技術性的解法：不管是嘗試消除雜訊（例如在一已知的製程使用較嚴的環境管制方法），或是利用較佳的實質資源（例如較先進的機器及較精純的物料），變更技術或技術性的解決方法可能需要資本金額持續的投資是為資本專案。移往這樣的本質可能引導至更一致性的 y 值，但是很明顯地產品的成本必會往上提升，再次地轉嫁到不是由客戶就是由生產者支付，但無論如何這是提供實驗設計的使用者處理變異數問題的另一個選擇方案。此一穩健的設計方法，為利用設計的實驗以優先使用的及成本有效的態度，以探討管理雜訊及降低變異的方法，此一解決方法可以更吸引來自高階層管理者的投入。



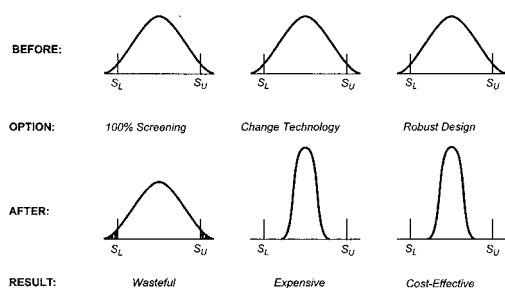


圖6 Options for variance reduction

穩健的設計在擴大工業界實驗的範圍完成兩個意義相當深遠的方向：

1. 實驗設計的應用發生得較早，其在設計階段時，將現有的實務系統微調以使新的產品或製程達到最佳化：在生產已經積極進行之後所造成的品質問題是可被理解的，這將可避免費用昂貴的變異。
2. 通常包括以模擬方式進行的實驗之潛在雜訊因子，設計可以事先加以適當的調整以消除在製造期間及整個產品壽命期間所融入的雜訊之影響：這擴展了實驗設計的貢獻度，包括從一個靜態的品質重點到可靠度工程的領域範圍。

與工業實驗具有擴展性的角色一樣，Taguchi和Taguchi方法的支持者也宣揚實驗設計要和分析程序相匯集，其對很多主流的統計學家從嚴厲的及有效的角度而言是易引起爭論的。比較圖4和圖5立即顯示出其不同的方式，因此形成雜訊因子和反應值的變異，緊接著為 Taguchi所發展各種不同的利害得失曾經被研究過，而且引起學術界及工業界的專家們強烈地爭辯，請看參考文獻 (13-19)。最近出版一些著作，目的是要將統計學家常使用的架構及 Taguchi程序所使用的架構搭建一座溝通的橋樑；同時介紹品質工程

的要素到設計的實驗、分析的實驗及說明的實驗 (37-40)，個案研究也有助於帶來較深層的認同需求以整合工程的觀點及統計的考量 (41,42)。

6 Sigma的架構

如所指出的，Taguchi 方法被認為是傳達實驗設計給入門的工程師及經理人而不是傳給統計學家，但是此一重要性雖然對品質的動向有點爭議，但很快地被在1990年代末期發展出，所謂的6 Sigma的開端，其成功地廣受Motorola、Allied Signal、GE及其它的同業(1,2)推廣。技術上Sigma的個數乃是產品品質按照製程變動量的一項代表，請參考圖1，它是 σ 的倍數並將填滿 μ 和 S_U 之間的時間即最鄰近的規格界限， 6σ 的防護暗示著在常態分佈的假設下，每十億個機會中不良的比率小於2個，即使允許 μ 往 S_U 位移 1.5σ ，則不良率每百萬個不超過3、4個。這是6 Sigma品質的精義，於此架構下建構了一個更精巧複雜的突破品質重圍的策略。

在1980年代末期發源於Motorola，Mikel Harry為6 Sigma的最知名推動者 (1,43,44)，6 Sigma已進化為一個策略，目的是要從每一個產品、製程及交易上消除其缺點，6 Sigma利用統計的思維，以已建立的管理手法及統計的工具，整合為以客戶為導向的品質改善，方法為定義--量測--分析--改善--管制(D-M-A-I-C)。如前面所提出的，實驗設計主要的特色為改善階段，另一項創新為眾所周知的6 Sigma的設計(DFSS)，也已併入並發展為R&D及設計人員的一項訓練方法，其也出現在像定義--設計--最佳化--驗證或是IDOV的階段，真正的名辭則看使用它的組織機構而決定。很自然地，實驗

設計的概念及技術也在DFSS的設計及最佳化階段扮演一項很重要的角色。

在最近數年裡，6 Sigma 已在工業界引起一陣騷動，主要是因為它想要從一個組織機構的CEO階層由上往下地被接受及被推展，現在它被視為是一個企業不可避免的策略，而不只是一項技術上的或數學上的巧計，反而是要求對積極的員工做密集訓練，並透過如“黑帶大師”“黑帶”及“綠帶”等階層名稱授與勝任的證書。

6 Sigma的受訓者被要求提出專案，專案所選定的問題並不侷限於工程上的議題，但也包含對直爽而熱心的客戶在交易上之貨品上的及財務上的領域之品質議題。在6 Sigma 的專案裡，雖然每百萬機會的不良數或是“Sigma水準”，一般上是以績效矩陣加以引用，改善的影響也以考證的財務所得加以表示，這與當一項工業實驗達到最高峰的時候有一大段的差別，譬如該工業實驗項有一項製程數學的模式之餘數分析或是一個回應曲面之特製的三維圖面。在6 Sigma 的創新裡，實驗設計扮演相當重要的角色，但是那不只是目的而是方法，企業所

重視的底線要求是什麼才是重要的。因此 Mikel Harry比Genichi Taguchi跨了一大步:實驗設計現在是由高階的管理人員所推動，由各種不同的技術層次“帶”所執行，除了實務系統外也應用到交易系統，而不再只是統計學家獨自擁有的財產。

未來的影響

在二十世紀末，實驗設計不再被視為是一項獨領風騷的工具，與一系列已建立的品質工具如量測系統分析(MSA)、品質機能展開(QFD)及失效模式效應分析(FMEA)等，一齊全部被封包為知名的6 Sigma為企業改善創新結構性的一部份。其系統性的訓練、認證及應用的架構，在應用性實驗設計的歷史沿革上是從未有過，事實上對熱中於推動6 Sigma的組織機構，他們本身試著要建立起具有超越教化意義的境界。過去所使用的實驗設計的方法和未來所期待能被展開的方式，兩者之間的對照概略在表4，雖然在實驗設計的理論基礎上仍然相同，未來統計實驗的展開是更複雜及更具整合性，致力於尋求改善的戮力者，將會

表 4

Shifting Emphasis in the Deployment of Design of Experiments

Feature	Past	Feature
1. Source of impetus	Operations level	Top management
2. Training effort	Stand-alone courses	Structured programs
3. Focus of training	Selection of self-contained analytical tools	Integration of interrelated quality tools
4. Expertise development	One-off effort	Sustained initiative
5. Motivation for study	Technical performance	Customer satisfaction
6. Nature of application	Ad hoc applications	Documented projects
7. Purpose of application	Mainly analysis	More synthesis
8. Guiding principles	Analytical requirements	Statistical thinking
9. Application mode	Localized	Organization-wide
10. Areas of investigation	Manufacturing related	Also service, transactional and financial
11. Project selection	Single-function problems	Cross-functional concerns
12. Work ownership	Isolated individuals	Teams
13. Deployment leadership	Statisticians in leading role	Trained employees as drivers
14. Performance indicator	Statistical parameters	Financial impact
15. Success criterion	Engineering objectives	Business bottom-line



有比以前更令人印象深刻的潛在性成果。

表4中所描述的文化變動轉化為表2中之最後的文字,亦即,後6 Sigma時期要求較高的層次,如協會團體對持續品質的要求、企業家的新方法論將會持續地及隨時地製造出易記的口號,雖然無法展開出未來發展的精確面貌,但卻可以加以推測出來。有兩個重要的方向在新千禧紀元裡已經很清楚,第一是有關電腦技術及計算的能力,其功能性及使用性增強很多,因為有關工業上的、商業上的及財務上的活動,現在已經有大量的資料庫可以供給使用,關於資料礦的技術正獲得了計算學家及統計學家們的高度注意;另外實驗設計是依賴著資料所產生的資訊,即資料礦嘗試著從現有的資料以產生資訊,但是資料的經濟性強調實驗設計的策略性,原始資料的增殖形成了資料礦所需的工具,這看似分裂的,但在複雜的系統及現象的研究,實際上是提示這兩方面能有互補的角色。事實上,資料礦的方法已很明顯地普遍應用於6 Sigma 的分析階段之多變數研究上,透過有用的資料以執行搜尋顯著的雜訊或不可控制的變數。資料礦及利用6 Sigma 架構所產生的資料兩者正確的組合,將引導到一個較寬廣的範圍以搜尋知識及解答。當它被理解時則是特別地好運用,除了在傳統製造的作業外,在行政管理、服務及交易等各方面,也是相當令人想要突破績效並加以探索的領域。

這點出另一種改革的方向,稱之為品質改善”巨集的“方法,與跨功能性的及多規律性的問題相關聯於專案的形成意識及專案的執行具有6 Sigma 的風格,將會造成以統計的思維做為公分母,其將成為跨領域的想

法及跨領域的技術之一項絕無僅有的比值。一項理解、描述、管理、管制甚至是利用變異的能力將會開展出新的紀元,並以資料為導向做調查及以資料為導向加以設計,當成果是以底限做衡量的,而且成功是以公司的利益及市佔率加以展示的時候,對於更多的參與者的強烈需求,乃不只是來自CEOs的投入也要求所有的股東一齊加入。

在公元二千元之後,實際的方法口號是不重要的。重要而顯現的是需經過不同的時期,以如表2所列出必需執行的事情之各種不同口號背後,對績效的改善及突破,實驗設計仍保有是每一個重要的開端或是新的推力之神的寶座。每逢被使用時,實驗設計確實提供了新的知識及觀點,並且在一已知的方法或架構下與其它工具相互連結,以為使用者創造價值。在未來,期盼實驗設計能擴大它的角色,在全球要求卓越上能持續成長而有更寬廣的不同使用方式。

參考文獻：

- 1.Harry, M.J. Six Sigma: A Break-through Strategy for Profitability, Qual. Prog. 1998, 31 (5), 60-64.
- 2.Hahn, G.J.;Doganaksoy,N.;Hoerl, R. The Evolution of Six Sigma. Qual. Eng. 2000, 12 (3), 317-326.
- 3.Snee, R.D. Six Sigma Improves Both Statistical Training and Processes. Qual. Prog. 2000, 33 (10), 68-72.
- 4.Hoerl, R.W. Six Sigma and the Future of the Quality Profession. Qual. Prog. 1998. 31 (6), 35-42.
- 5.Snee, R.D. Impact of Six Sigma on Quality Engineering. Qual. Eng. 2000, 12 (3), ix-xiv.



6. Britz, G.C.; Emerling, D.W.; Hare, L.B.; Hoerl, R.W.; Janis, S.J.; Shade, J.E. Improving Performance Through Statistical Thinking; ASQ Quality Press: Milwaukee, WI, 2000.
7. Hoerl, R.W.; Snee, R.D. Statistical Thinking: Improving Business Performance; Duxbury Press: Pacific Grove, CA, 2002.
8. Fisher, R.A. The Design of Experiments, 7th Ed.; Oliver and Boyd: Edinburgh, 1960.
9. Shainin, D. The Statistically Designed Experiment. *Harv. Business Rev.* 1957, 35 (4), 67-73.
10. Bhote, K. World Class Quality: Using Design of Experiments to Make It Happen; American Management Association: New York, NY, 1991.
11. Box, G.E.P.; Hunter, W.G.; Hunter, J.S. Statistics for Experimenters; Wiley: New York, NY, 1978.
12. Taguchi, G. System of Experimental Design; Unipub/Kraus: White Plains, NY, 1987; Vols.1 and 2.
13. Kacker, R.N. Off-Line Quality Control, Parameter Design, and the Taguchi Method (with Discussion). *J. Qual. Technol.* 1985, 17, 176-209.
14. Pignatiello, J.J. An Overview of the Strategy and Tactics of Taguchi. *IIE Trans.* 1988, 20, 247-254.
15. Goh, T.N. Taguchi Methods: Some Technical, Cultural and Pedagogical Perspectives. *Qual. Reliab. Eng. Int.* 1993, 9, 185-202.
16. Box, G.E.P.; Bisgaard, S.; Fung, C.A. An Explanation and Critique of Taguchi's Contribution to Quality Engineering. *Qual. Reliab. Eng. Int.* 1988, 4, 123-131.
17. Box, G.E.P. Signal to Noise Ratios, Performance Criteria and Transformations (with Discussions). *Technometrics* 1988, 30, 1-40.
18. Levi, R. Cautions for Taguchi, 16.
19. Hurley, P. Interactions: Ignore Them at Your Own Risk (How Taguchi's Confirmation Run Strategy Can Lead to Trouble). *Qual. Eng.* 1994, 6, 451-457.
20. Hahn, G.J.; Hill, W.J.; Hoerl, R.W.; Zinkgraf, S. A. The of Six Sigma Improvement A Glimpse into the Future of Statistics. *Am. Stat.* 1999, 53 (3), 208-215.
21. Juran, J.M., Ed. The Design and Analysis of Industrial Experiments; Oliver and Boyd: Edinburgh, 1954.
22. Brownlee, K.A. Statistical Theory and Methodology In Science and Engineering; 2nd Ed. Wiley: New York, NY, 1965.
23. Juran, J.M., Ed. Quality Control Handbook, 4th Ed.; McGraw-Hill: New York, NY, 1988.
24. Taguchi, G. Introduction to Quality Engineering; Asian Productivity Organization: Tokyo, 1986.
25. Grant, E.L.; Leavenworth, R. S. Statistical Quality Control, 7th Ed.; McGraw-Hill: New York, NY, 1996.
26. Bisgaard, S. Industrial Use of Statistically Designed Experiments: Case Study References and Some Historical Anecdotes. *Qual. Eng.* 1992, 4(4), 547-562.
27. Snee, D.R.; Hare, L.B.; Trout, J.R., (Eds.) Experiments in Industry: Design, Analysis, and Interpretation of Results. ASQC Quality Press: Milwaukee, WI, 1985.
28. Box, G.E.P.; Draper, N.R. Empirical



- Model Building And Response Surfaces; Wiley: New York, NY, 1987.
29. Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments, 5th Ed.; Wiley: New York, NY, 2001.
 30. Goh, T.N. Information Transformation Perspective on Experimental Design in Six Sigma. *Qual. Eng.* 2001, 13(3), 349-356.
 31. Shainin, D.; Shainin, P. Better Than Taguchi Orthogonal Tables. *Qual. Reliab. _Eng. Int.* 1988, 4, 143-149.
 32. Ledolter, J.; Swersey, A. Dorian Shainin's Variables Search Procedure: A Critical Assessment. *J. Qual. Technol.* 1997, 29(3), 237-247.
 33. Kacker, R.N.; Shoemaker, A.C. Robust Design: A Cost-Effective Method for Improving Manufacturing Processes. *AT&T Tech. J.* 1986, 65 (2), 39-50.
 34. Phadke, M.S. *Quality Engineering Using Robust Design*; Prentice Hall: Englewood Cliffs, 1989.
 35. Fowlkes, W.Y.; Creveling, C.M. *Engineering Methods for Robust Design*; Addison-Wesley: Reading, MA, 1995.
 36. Snee, R. D. Creating Robust Work Processes. *Qual. Prog.* 1993, 26(2),
 37. Lochner, R.H.; Mater, J.E. *Designing for Quality*; Quality Resources: White Plains, NY, 1990.
 38. Taylor, W.A. *Optimization and Variation Reduction in Quality*; McGraw-Hill: New York, NY, 1991.
 39. Condra, L.W. *Value-Added Management by Design of Experiments*; Chapman and Hall: London, 1995.
 40. Moen, R.D.; Nolan, T.W.; Provost, L.P. *Improving Quality Through Planned Experimentation*, 2nd Ed.; McGraw- Hill: New York, NY, 1999.
 41. Czitrom, V.; Spagon, P.D. *Statistical Case Studies for Industrial Process Improvement*; SIAM and ASA: Philadelphia, 1997.
 42. Wu, C.F.J.; Hamada, M. *Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*; Wiley: New York, NY, 2000.
 43. Harry, M.J.; Lawson, J.R. *Six Sigma Producibility Analysis and Process Characterization*; Addison-Wesley: Reading, MA, 1992.
 44. Harry, M.J.; Schroeder, R. *Six Sigma, The Breakthrough Management Strategy Revolutionizing the World's Top Corporations*; Doubleday: New York, NY, 2000.
- (資料來源：ASQ, Quality Engineering Volume 14, Number 4, 2002)

