

統計手法在改善工業製程 品質上的應用

潘浙楠 教授
國立成功大學 統計系

11:00 ~ 12:30

2017年9月6日

統計手法在改善工業製程品質上的應用

在 2010 年南非世界盃足球賽中，最令人不可思議的事莫過於章魚哥保羅 (Paul) 對世足賽大結局的預測。連續 8 次出爪無一次落空的保羅，除了準確地猜對德國隊會在世界盃季軍戰中獲勝外，又成功地猜中西班牙隊會擊敗荷蘭隊，奪

得南非世足賽冠軍。能夠如此神準連續 8 次猜中的機率僅為 $\left(\frac{1}{2}\right)^8 = \frac{1}{256} = 0.391\%$ 。

這種機率相當於統計學中的型 I 誤差(誤警率) $\alpha = 0.391\%$ ，也就是說章魚哥保羅亂放警訊的機率不到 0.4%，即表示我們有 99.6% 的信心相信保羅對世足賽預測的準確性。有趣的是此一事件發生機率的背後正隱含工業界對異常管制圖判定準則(參見 4.2 節)製訂的重要觀念。

(picture 1 放置處)

圖說：章魚哥保羅連續八次猜中比賽結果，水族館贈其金盃。(圖片取自：法新社)



眾所皆知，在工業產品製造過程中，為瞭解並監控產品品質之變化，我們須定期抽取樣本檢驗，再藉由樣本數據研判製程之穩定性，以作為長期製程能力分析與製程改善之資訊。統計之目的即在於蒐集數據/資料、分析資料並把資料轉成有用的資訊。所謂統計品管係指利用統計方法改善產品製造與服務的品質。日本品管專家石川馨(Ishikawa)曾針對統計品管的七大手法(即流程圖、點檢表、直方圖、管制圖、伯拉圖、要因分析圖及散佈圖)予以闡述，這七種統計手法是改善製程品質最主要的工具。

欲瞭解統計品管的七種手法並有效地應用於解決實際品質問題上，我們必須先弄清楚這些圖表之目的。如流程圖之主要目的是為了瞭解並掌握工作程序；點檢表是為了方便蒐集資料而設計的分類表；直方圖是為了瞭解並掌握製程變異與工程規格間之關係，它是進行短期製程能力分析的主要工具；管制圖是為了監控製程的穩定性及關鍵品質特性隨時間之變化與表現，它是執行長期製程能力分析的工具。

管制圖與直方圖最主要的區別在於直方圖有如照相機，只能拍出製造過程當時的表現，而管制圖則如同攝影機，它可以長期觀察並記錄製程的穩定性，並能及時反映出製程何時脫離管制狀態。伯拉圖係為了掌握品質問題的重點，而要因分析/魚骨圖則是為了瞭解品質問題之因果關係，並有系統地整理出影響產品品質導致造成缺點的原因以作為擬定改善對策之依據；至於散佈圖則是為了探討兩筆資料間的相關性以作為建立預測品質特性表現的分析基礎。

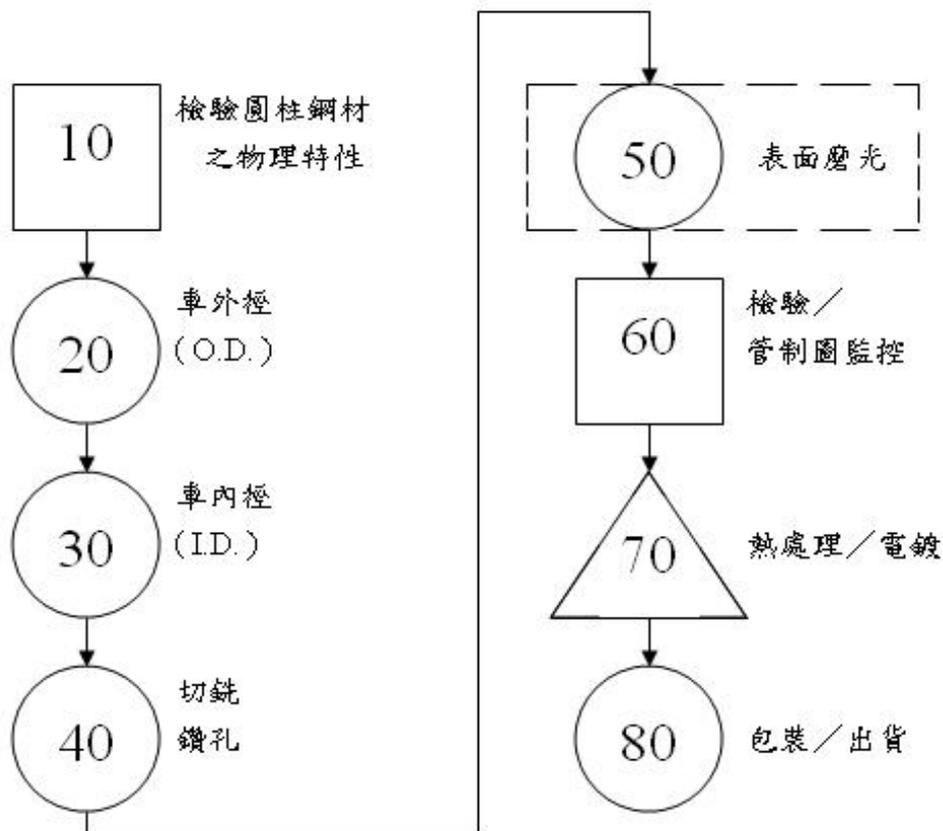
1 流程圖(process flow chart)

製造流程圖是一種瞭解、掌握並改善工作程序的方法，它係以下列符號對製程之現況作一剖析。藉由工作的細分，我們很清楚地知道那些是有價值的動作（value-added operation），那些是沒有價值的動作（non-value added operation），這是工業工程師（I.E.）進行工作簡化的前置作業，也是定義品質問題的基本工具。

例如：若中空圓柱鋼管之表面磨光程度為一可以反映該產品品質特性的關鍵製程，則我們必須選擇適當的管制圖針對其產品品質特性的穩定性進行監控。

(picture 2 放置處)

圖說：中空圓柱鋼管之製造流程圖



2 點檢表 (check sheet)

點檢表係有系統蒐集資料之工具，其目的在於方便資料之整理。點檢表必須符合特定之需求，設計上儘可能要簡單正確。常見的點檢表有：

- (1) 記錄性的點檢表 (recording check sheet)
- (2) 標示缺點位置的點檢表 (location check sheet) 又稱為缺點集中圖 (concentration diagram)。例如：若電路板之缺點均集中在某一象限則品質人員即可針對此品質問題進行改善對策之研擬。
- (3) 詳列檢查項目的清單 (check sheet)，例如汽車維修定期檢驗時，常見的冷卻系統、傳動系統、剎車系統及發動系統等檢查項目。有了清單，檢修人員方有所依循而不致產生疏漏之情形。

現針對記錄性的點檢表舉例說明之，某一生產投影機之工廠，其最終檢驗之項目為投影機外觀之缺失，如表面疤痕、玻璃裂縫、零件不完整、噴漆顏色剝落等問題。若檢驗員檢查 2530 個產品，結果發現 86 台投影機有瑕疵，缺點總數共有 115 個，則我們可求得每台投影機之平均缺點數為 $115/86=1.337$ 個/台，而不良率為 $86/2530=4.54\%$ 。

(picture 3 放置處)

圖說:評估缺點之點檢表

產品：投影機	日期：_____
工作站：最終檢驗	部門：_____
缺點型態：如下	檢驗員：_____
總檢查數：2530	序號：_____

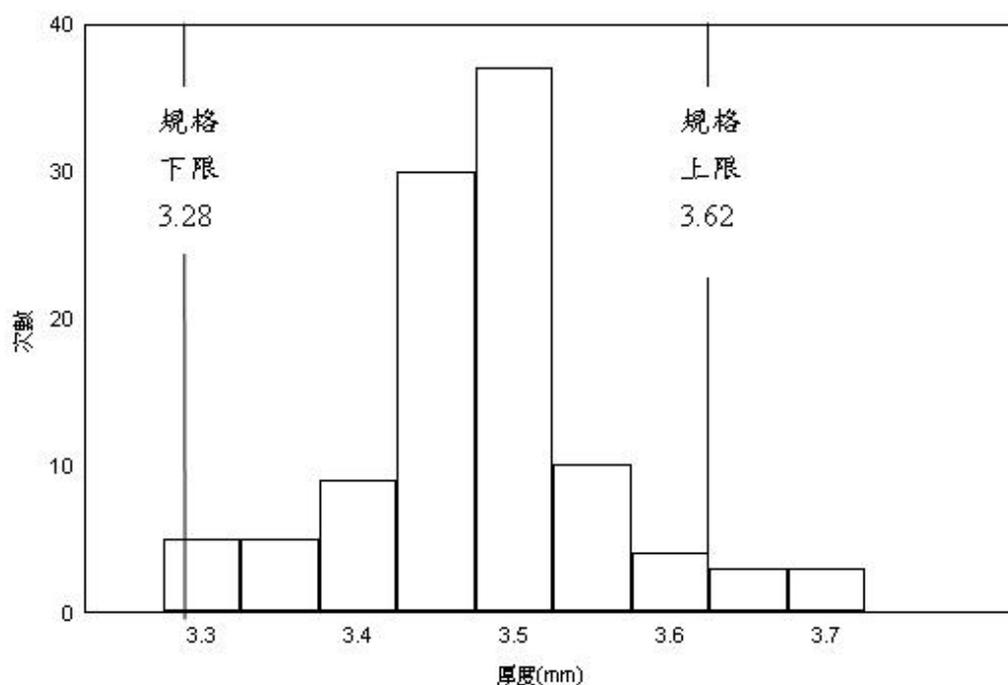
缺點型態	個數	累計
表面疤痕	### ### ### ### ### ### //	32
裂縫	### ### ### ### //	23
不完整	### ### ### ### ### ### ### ### ### //	48
顏色問題	////	4
其它	### //	8
	總計：	115
不良品總數	### ### ### ### ### ### ### ### ### ### ### // ### ### ### ### //	86

3 直方圖

直方圖 (histogram) 又稱次數分佈圖 (frequency distribution)，是一種將“量測資料”以圖形展現之方式，它可表現製程變異的樣式，是品管人員最常使用的解題工具之一。例如某工廠金屬塊的製造過程其厚度的平均約為 3.48mm，若工程規格上限 (USL) 為 3.62mm，工程規格下限 (LSL) 為 3.28mm。則透過直方圖，我們可發現由於製程變異太大造成不少金屬塊的厚度因不合規格(超過上限或低於下限)而被報廢，可見此一製程最迫切需要改善的品質問題是減少變異。

(picture 4 放置處)

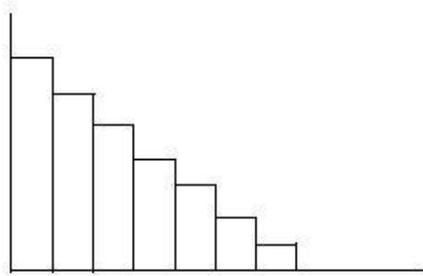
圖說:金屬塊厚度之次數分佈圖



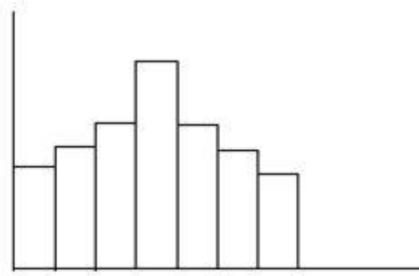
工廠品管常見之直方圖形狀及其可能的原因有:(1)“崖狀”代表零件可能經過篩選、(2)“對稱”代表正常的常態分配、(3)“右偏”代表製程中心偏向規格下限、(4)“梳狀”代表可能的量測誤差、(5)“均等分佈”則表示可能為量測儀器校對不精確、(6)“雙峰型狀”則表示有二個以上製程混雜在一起，應予以區隔。透過直方圖形狀之分析，品管人員即可研判品質問題可能產生之原因，進而擬妥解決的方法。雖然直方圖無法展現製程隨時間變化的趨勢，但它卻像照相機般可拍出工業製程當時的表現，非常適合品管人員在診斷問題現況以期研擬出改善對策時的參考。

(picture 5 放置處)

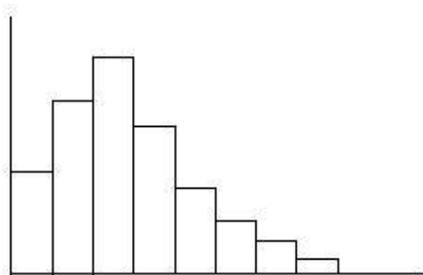
圖說:直方圖的形狀



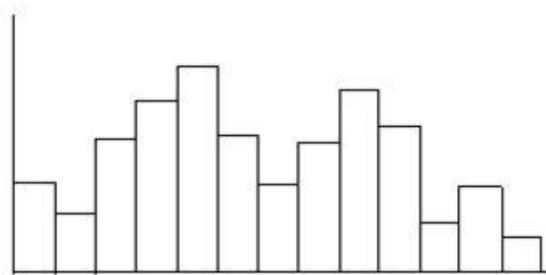
崖狀
(零件可能經篩選)



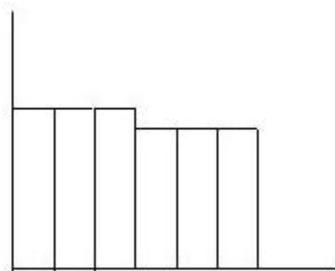
對稱
(常態分配)



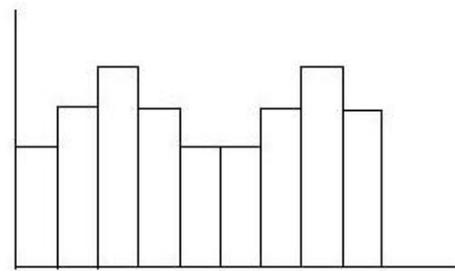
右偏
(製程中心偏向規格下限)



梳狀
(量測誤差)



均等分佈
(儀器校對不精確)



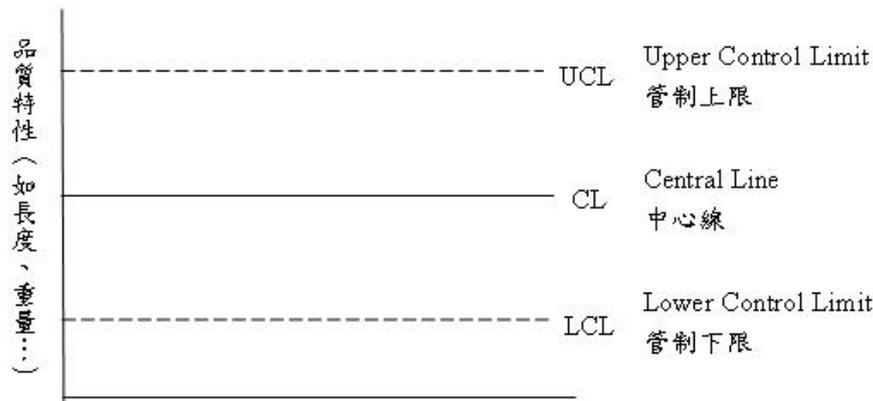
雙峰型
(二個以上製程)

4 管制圖

管制圖 (Control chart) 是將工業製程中所蒐集品質特性的量測資料加以整理並計算其位置統計量 (平均數、中位數) 及變異統計量 (標準差、全距), 再依統計學的中央極限定理將所求得製程平均及變異之中心線與上、下管制界限繪製成圖, 藉以判斷製程品質特性隨時間之變化狀況, 此種圖形即為管制圖。管制圖現已成為監控工業製程品質不可或缺之工具。

(picture 6 放置處)

圖說: 管制圖之基本結構



組號 (或時間...等), 按相等間隔順序排列

管制圖上，橫座標常用以表示製品之樣組序號、或時間別；縱座標則代表品質特性之量測值。管制圖繪製之目的，是要訂出管制界限，藉以判斷製程是否有異常狀況發生，俾針對異常狀況進行檢討改善，使製程維持在良好之管制狀態 (in-control) 下。簡言之，管制圖旨在提供製程是否呈穩定 (stable) 狀態之資訊藉以作為品質改進之依據。

4.1 機遇原因與非機遇原因

管制圖常將製程品質變異之原因分為機遇原因 (random/chance cause) 與非機遇原因 (non-random cause) 兩種。其中非機遇原因是製程分析中需要特別注意且必須採取行動者；而機遇原因通常係自然現象，並不需要特別處理。

機遇原因所造成之品質變異，在生產過程中是不可避免的。相同作業員在同樣的操作條件下，所製造出來的成品也不可能一模一樣，總會有些許差異，同樣情形也可能發生在同一部機器、同一種材料上，這種差異只能歸諸自然現象。若製程只出現由機遇原因產生之變異，則該製程可視為呈現穩定的正常狀態。

非機遇原因係製程受到一些特殊因素的影響，包括：機具設定失當、操作失誤或是材料不佳。這類變異通常會使製程產生非隨機性之變化樣式，可追查其原因後採取對策予以去除，通常追查非機遇原因可由 5M 來分析：(1) Man：是否係人為疏失所致。(2) Machine：機器是否未保養。(3) Material：材料是否已變化。(4) Method：操作方法是否不當。(5) Measurement：量測工具是否失準。由於非機遇原因所造成之品質變異通常較大且明顯，因此製程若出現非機遇原因之變異，該製程將被視為呈現不穩定的異常狀態。

4.2 異常管制圖之研判

我們可藉由管制圖中樣本點之分佈是否出現下列異常現象來研判製程品質是否出現異常變異之風險。

1. 逸出管制上下限

一般而言，若有一點逸出管制界限之外，即可判定該製程出現異常。

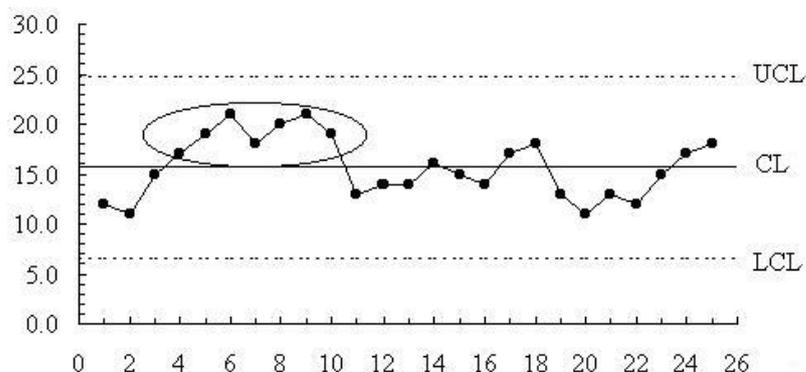
2. 連串傾向與趨勢

- (1) 連續有 7 點（含）以上出現在中心線之上方或下方，即構成連串(run)
- (2) 連續有 7 點（含）以上呈一路上昇或下降的趨勢(trend)。

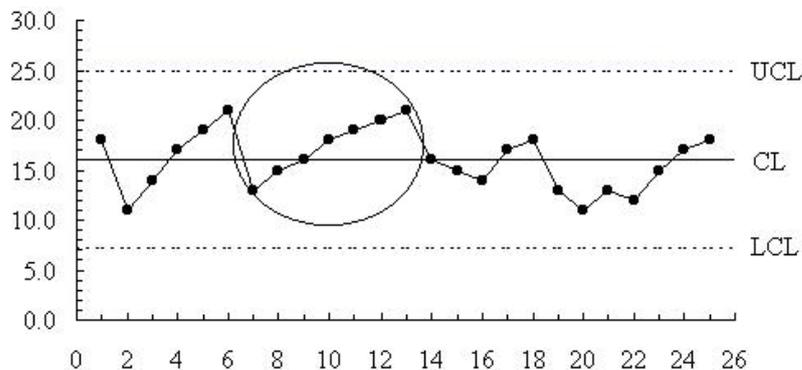
上述兩種被判為異常現象的機率僅甚少，如：發生在中心線上方之機率與發生在中心線下方之機率均為 $(\frac{1}{2})^7 = 0.0078125 \approx 0.78\%$ ，統計學稱這種機率為型 I 誤差(α)，即製程正常而被判為異常之誤警機率。管制圖判異準則的製訂正是統計學中「假設檢定」的應用，統計方法是強調證據的科學，在沒有充分證據支持的情況下，我們通常以無罪推定論，認為製程呈穩定狀態(即 $H_0: \mu = \mu_0$ ，此時製程平均命中目標)，若有充分的證據支持，則我們可以推翻虛無假設而承認對立假設(即 $H_A: \mu \neq \mu_0$ ，此時製程平均已偏離目標值而呈現不穩定或脫離管制狀態)。據此，我們有 99.22% 的信心可研判製程已產生異常變動。故章魚哥保羅能連續 8 次猜中世足賽獲勝球隊的機率僅 $(\frac{1}{2})^8 = 0.391\%$ ，較管制圖判異準則的誤警率 $= (\frac{1}{2})^7 \approx 0.78\%$ 還小，可見其預測的神準。

(picture 7 放置處)

圖說:異常管制圖(連串傾向與趨勢)



異常管制圖：連續 7 點出現在中心線之一方



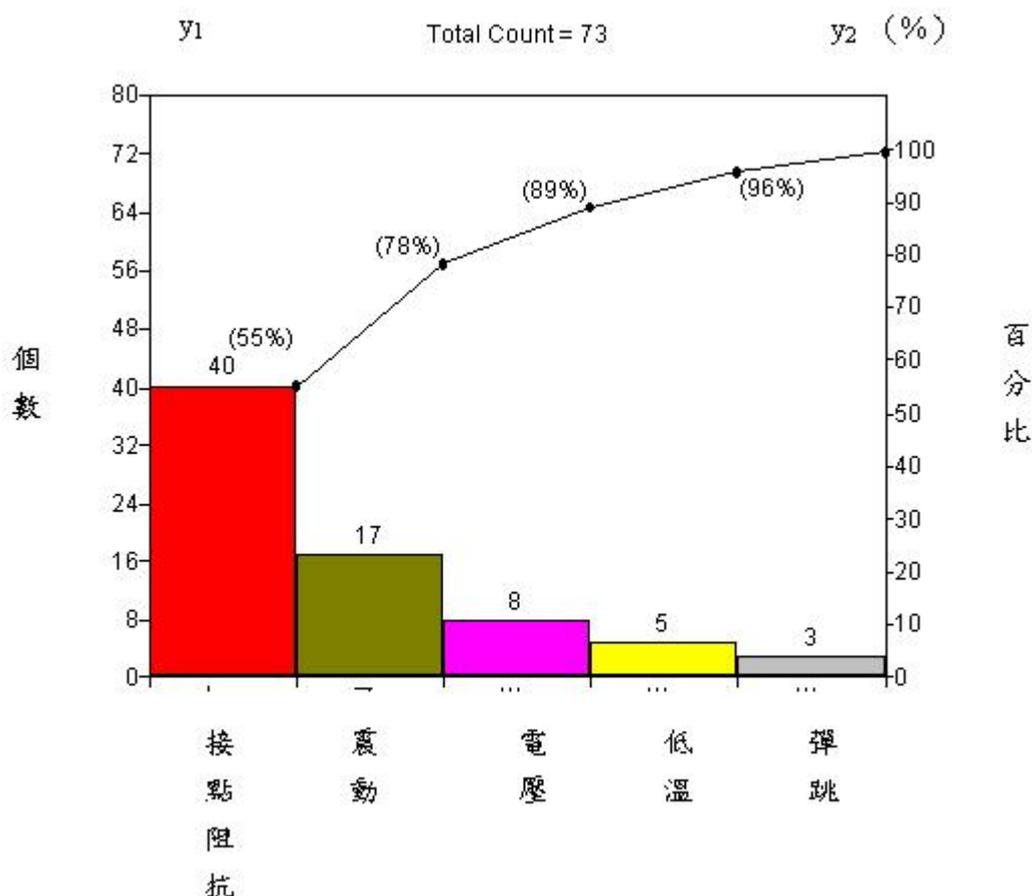
異常管制圖：連續 7 點呈上升趨勢

5 伯拉圖分析

伯拉圖 (Pareto chart) 分析又稱 80-20 法則，是十八世紀義大利的經濟學家 Pareto 鑑於“義大利全國大多數 (80%) 的財富由少數 (20%) 有錢人所壟斷”之現象所提出的。品管大師茱蘭 (Juran) 將其應用在品質管理上，Juran 發現：“大多數 (80%) 的品質問題均由少數 (20%) 的缺失所造成”。若能解決這些少數的缺失則多數品質問題便可迎刃而解。後來 80-20 法則被廣泛應用於存貨及時間管理上。總之，伯拉圖分析之目的在於掌握品質問題的重點以集中有限之資源，時間與人力去解決當務之急。例如從工業用繼電器 (Relay) 缺點的伯拉圖分析，我們可發現接近八成 (78%) 繼電器的品質問題係由接點阻抗 (contact resistance) 及震動 (vibration) 所造成的。據此品管人員可研擬出相關之改善對策，以期有效解決繼電器的退貨問題。

(picture 8 放置處)

圖說:繼電器缺點的伯拉圖



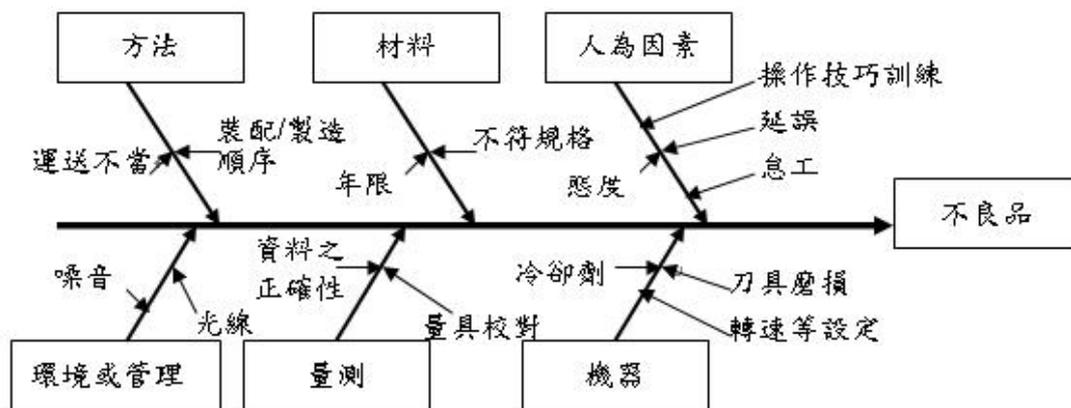
6 要因分析/魚骨圖

要因分析圖 (cause and effect diagram) 又名魚骨 (fishbone) 圖，係日本品管專家石川馨 (Ishikawa) 所創。它包含了如魚骨的直線及如魚刺的箭頭，展現了

品質問題與原因間之關係。一般而言，影響品質缺點或造成不良品的原因可分成 7 大類；即所謂 7 個 M(1)人為 (man) 因素，(2)材料 (material)，(3)操作方法 (method)，(4)機器 (machine)，(5)量測 (measurement)，(6)環境 (environment)，(7)管理 (management) 問題。事實上釐清問題之癥結不外乎在上述 7 個 M 中。從機械工廠車床加工不良品產生的例子中，品管人員利用魚骨圖分析即可進行腦力激盪 (brainstorming) 而找到品質改善的方向。

(picture 9 放置處)

圖說：車床加工之魚骨圖分析－影響不良品之 7M



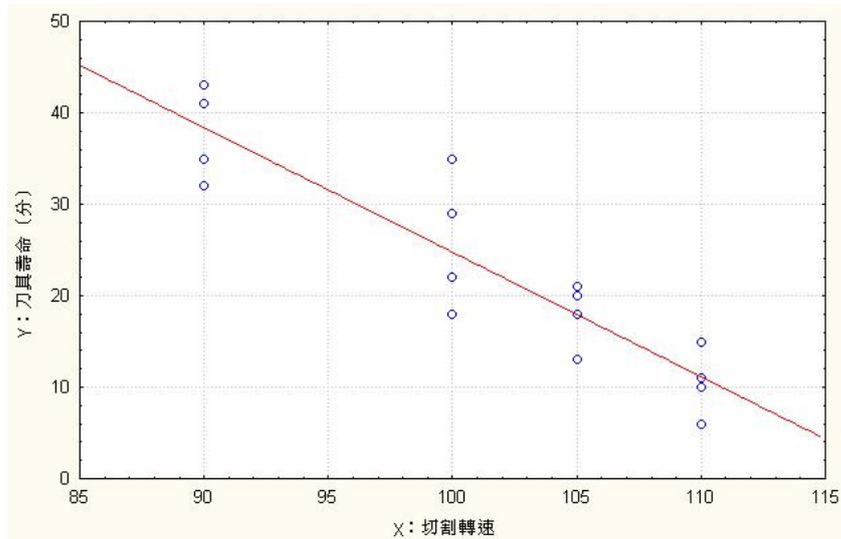
7 散佈圖

散佈圖 (scatter diagram) 之目的在於呈現兩個計量變數間的關係，其中自變數列於橫軸，另一應變數則列於縱軸。藉由散佈圖分析，我們可以觀察出兩組資料間之關係，透過散佈圖，我們可以初步判定自變數 (x) 與應變數 (y) 間呈線性或非線性的關係，進而利用迴歸分析的方法建構出 x 與 y 間的預測方程式。從車床加工中刀具壽命與切割轉速呈負相關的散佈圖中，我們可求得藉由切割轉速

(x) 預測刀具壽命 (y) 的迴歸方程式 $\hat{y} = -1.36x + 160.76$ ，此一預測方程式對車床加工切割轉速的設定及製程品質的改善有非常大之助益。

(picture 10 放置處)

圖說：刀具壽命與切割轉速之散佈圖



8 結論

統計圖表是將製程資料轉成重要資訊的利器。本文依序介紹了(1)瞭解並掌握工作程序的流程圖、(2)方便蒐集缺點的點檢表、(3)展現製程變異樣式的直方圖、(4)監控製程穩定性之管制圖、(5)找出重要缺點/品質問題的伯拉圖、(6)對因果關係作系統整理的要因分析圖、(7)描繪自變數與應變數間相關性的散佈圖等七大統計手法。可作為讀者今後應用統計手法改善製程品質時的重要參考。