

MSA 第四版概論

撰文:BSI 英國標準協會 TS 16949 產品經理

劉昱廷 (Benson Liu)

一 前言

MSA (Measurement System Analysis 量測系統分析)是 AIAG 所出版的汽車工業標準之五大核心工具之一，目的是介紹各種分析手法來找出量測的總變異 (亦稱為不確定度 expanded uncertainty)，以便評估第一類型錯誤 (type-I error 良品判斷為不良品) 與第二類型錯誤 (type-II error 不良品判斷為良品)的風險。其中需特別關注第二類型錯誤，因其風險會直接到達客戶端，造成嚴重之客訴與品質失敗成本。

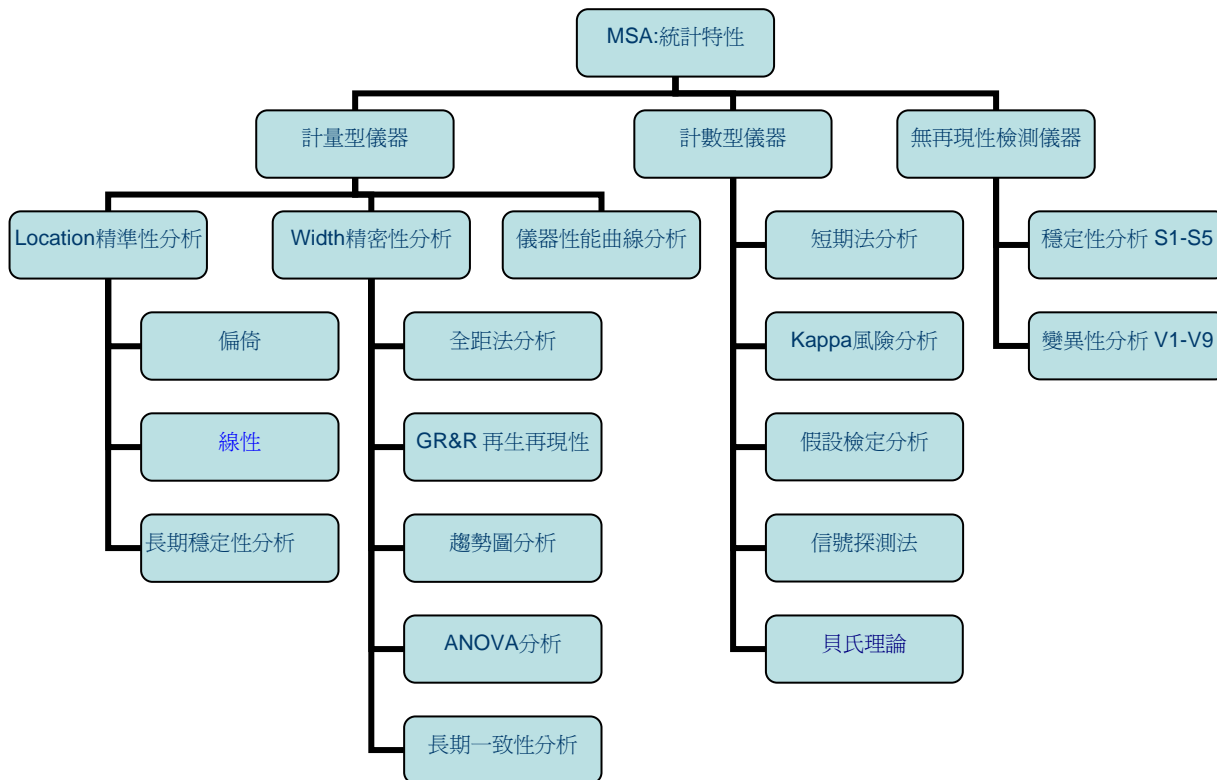
MSA 手冊所介紹之分析手法皆根源於古典統計學(classic SPC)，若想深入理解 MSA 則需先奠定古典統計學之概念。

MSA 第四版已於 2010 年六月出來。相比於第三版並無甚麼變更，只是補充提示某些分析手法，令其讀者對理路更易瞭解，也對一些使用者的常犯錯誤做重要的觀念澄清。**本文會以粗體紅字特別標出，俾令讀者能很快了解此次改版的變動。**

MSA 所需涵蓋的儀器範圍一般是參考管制計畫所列舉之量測儀器，最主要關注量測產品特性之儀器，因其直接和客戶要求關聯，並直接造成客戶影響。至於量測製程特性之儀器，如溫度計，壓力計，轉速計…等則可考量其重要性或客戶要求，決定其 MSA 手法與允收標準，不一定是非做不可。

二 MSA 分析手法鳥瞰

我們把 MSA 所談到的各種分析手法做一個架構圖來顯示其手冊內容之綱要



量測系統的統計特性:

- 理想之量測系統是一個具有零偏差、零變異的統計特性。
- 量測系統的統計特性：
 - 量測系統須在統計管制下，亦即量測系統的變異僅根源於共同原因，而非特殊原因。(亦即在做 MSA 之前必須確認排除所有特殊原因；例如 儀器鬆動，儀器未校準，評價人非正常生產之檢驗員，使用塊規而非使用量產之產品樣本…等。其中包括 “盲測 blind measurements”，亦即須應用客觀方式取得量測讀數，舉例來說: 評價人量測樣品的某一尺寸時，需遮蓋讀數表，當確認量測到位時，再揭開讀數表並紀錄其讀數，以避免評價人依預期心獲取讀數)。
 - 量測系統的變異必須小於製程變異。
 - 量測系統的變異必須小於規格界限。
 - 量測之最小刻度必須小於製程變異或規格界限之較小者，一個通用的法則是：最小刻度應小於製程變異或規格界限較小者之 1/10。（足夠的分辨率及靈敏度）
 - 因量測項目的改變，量測系統之統計特性可能變更，但最大的量測系統變異必須小於製程變異或規格界限較小者。

在確保統計特性之後，方能開始進行量測系統分析。

零件內變異(within part variation)必須注意，如一個圓柱體零件，不同位置所測得的外徑會有所不同。執行 MSA 分析時，需做記號，將量測固定在一個位置。否則此零件內變異會跑進去附著於人員或儀器的變異。理想的零件內變異是 0，在進行 MSA 分析前須予以確認。

三 各種 MSA 分析手法

計量型儀器:

量測能得到數值的儀器。如: 游標卡尺，三次元量測儀，三用電表，硬度計，分光儀，粗度儀…等。

先介紹屬於精準性(accuracy)的分析，其主要在了解量測值與真值的差異是否可以接受。下分三種分析手法:

偏倚(bias): 量測值和真值(或參考值)之差距。採用古典統計裡的獨立樣本法: 抽樣誤差與信賴區間 95%之水準。故只要 0 點座落於偏倚誤差 1.96σ 之內，代表量測誤差和 0 點相距很近，判定偏倚可以接受。

MSA 第四版提到採用假設檢定手法來和抽樣誤差與信賴區間法相印證，一般而言兩者所得結論會一致。 此種採用各種古典統計手法來相互印證的方式，不斷出現在 MSA 手冊各章節中，用以說明雖然手法有所不同，但本質相同，判斷結果就會一致。

BSI
5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
F: +886-2656-0222
www.bsigroup.tw



線性(Linearity): 儀器量測範圍內之偏倚的狀況，MSA 手冊中選了能代表其量測範圍的 5 點，得出各點之平均偏倚，利用回歸分析得出線性，也採用 95%之信賴區間，得出其線性的上下兩條 95%信賴區間線，故只要 0 點線座落於此信賴區間線之間，代表各點之 0 點各座落於偏倚誤差 1.96σ 之內，偏倚在各點可接受。整條線性即可判定接受。但 MSA 手冊之案例顯示 0 點線跑出上下兩條 95%信賴區間線，故判定線性不可接受。

線性若做過，即代表整個量測範圍的各點都偏倚都可顯示出來，不需再做某些點之偏倚了。

偏倚和線性的分析結果須先和再現性(repeatability)對比，若再現性相對於製程變異可以接受，代表儀器本身的變異夠小，不致使 95%的信賴區間擴的太大，偏倚和線性的分析才算有效。

長期穩定性(stability): 一般採用 X-bar R 管制圖，以了解在長時間的主軸上，其偏倚變異的狀況。分析手法則同管制圖之判讀準則，若未觀察到特殊趨勢或有任何點超出管制界限，則判定此偏倚量測無存在特殊原因，穩定性可接受。

再來介紹屬於精密性(precision)的分析，其主要在了解人員與儀器的變異下所造成每次量測值的差異是否可以接受。下分五種分析手法:

全距法分析(range method): 若之前已做過幾次 GR&R 分析，其結果都非常理想。新產品開發又使用同一儀器，或每年想確認一下其 GR&R 的狀況，則可以採用此簡易型的 GR&R 手法。只需兩個評價人與五個樣品，每人各量每個樣品一次。所得之 GR&R 變異是揉合再生再現性的總變異，再轉化成標準差(因為需考量其抽樣誤差)，與製程標準差做比對。若小於 10%則可判定為可接受。

GR&R 再生再現性分析(average and range method): 這是運用最廣的 MSA 分析手法，可分離得知儀器變異，人員變異與零件變異。再轉化成標準差(因為需考量其抽樣誤差)，與總標準差做比對。經常所見之**錯誤**有三點；

- (1) Rp 零件變異太小(因十個樣品係從同一批挑出)造成%GR&R 過高，**解決之法可以直接將 TV 總標準差 = $(USL - LSL) / 6$ 代入(Pp 約等於 1)，此代表製程的一個標準差，GR&R / TV 來得到結果，但此法是將 GR&R 直接和製程一個標準差相比，條件較為嚴苛。**
- (2) 第二個錯誤是%R&R 之結果在 10%到 30%之間，卻直接判定接受，而沒有解析對內部與客戶所造成之風險。
- (3) 第三點則是 MSA 第四版所提醒的：**沒有完整分析儀器的精密精準與長時間之總變異，也未解析對內部與客戶所造成之風險，單從%GR&R 所得之結果小於 10%就判斷此儀器之 MSA 分析可以接受。**

另外一個判斷重點是 NDC，需大於 5 才可接受。其實若鑑別力(discrimination)夠以及%GR&R 夠小，此數據應該不會有問題。

趨勢圖分析: 這個部份沒有變動。各類趨勢圖依照 GR&R 分析: 三個評價者，十個樣本，每人對每個樣品量三次。將各種分解所得之趨勢圖可以觀察到一些現象。從而解析其原因，判斷改進的方向。例如其中一個圖看出 A 與 B 較一致，C 與 AB 較不相合，則可進一步去了解 C 的量測有何問題。

BSI
5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
F: +886-2656-0222
www.bsigroup.tw



ANOVA 變異數分析: 這是比較複雜的分析，需要利用電腦軟體來計算。ANOVA 手法可拆解出: 零件，評價人，零件與評價人的相互影響以及儀器的再現性。所計算之數據跟前面之 GR&R 引用相同數據，所得結果 GR&R 與 ANOVA 大致相同，兩者互相印證。判斷之準則和 GR&R 一樣。

注意: 精準性和精密性是兩種不同類型之分析，一般情況下是互相獨立的，GR&R 結果可接受並不代表線性也會可接受。

但 MSA 第四版也另提示: 若 Cpk 夠高，則可考慮不須執行 MSA 分析。

故總結以上的計量型儀器之 MSA 總變異 = 偏倚(線性)變異 + 穩定性變異(長時間) + 再生性變異 + 再現性變異 + 一致性變異(長時間)

這些變異都須以標準差的形式呈現: $\sigma^2(\text{總變異}) = \sigma^2(\text{偏倚或線性}) + \sigma^2(\text{穩定性}) + \sigma^2(\text{再生性}) + \sigma^2(\text{再現性}) + \sigma^2(\text{一致性})$

得到 $\sigma(\text{總變異})$ 後，我們就可以來計算量測不確定性 $U(\text{uncertainty}) = k\sigma(\text{總變異})$

以 95% 信賴區間之 Z 分配，可查得 k 約等於 2。

假設 $\sigma(\text{總變異})=0.02$ ，不確定性 $U=2 \times 0.02=0.04$ ，則我們知道在 95% 信賴水準下量測值 21.50 的結果，其實際值會介於 21.46 - 21.54。其尺寸公差若 ± 0.03 ，則我們應該去評價有可能超出規格值 0.04 的情況時，我們可能判定允收，這時就要去評估當超出規格值 0.04 時，客戶使用後會有哪些衝擊?

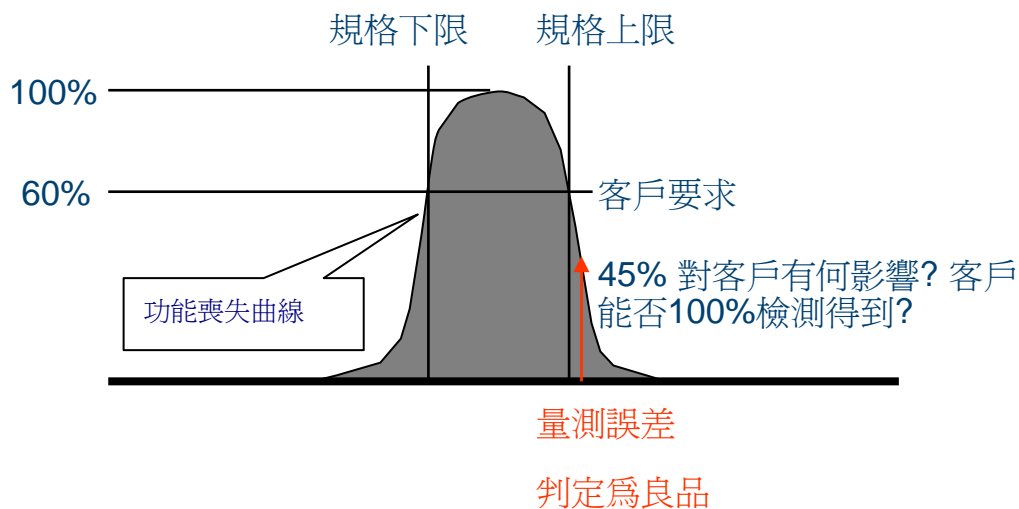
我們可以和客戶探討功能喪失曲線(如下圖所示)，並評估 MSA 變異造成不良品判為良品時，客戶使用時功能喪失的程度，以了解其真實之衝擊與風險。

附注: 功能喪失曲線是指某一產品特性在規格中心值時，其對產品所發揮之功能達到 100%，隨著特性值往兩邊走，其對產品所發揮之功能遞減，每個特性遞減的幅度不盡相同所畫出來的曲線。設計者會依據此曲線來決定上下規格界線。

BSI
5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
F: +886-2656-0222
www.bsigroup.tw





計數型儀器:

量測結果只有 OK 或 NG (例如: 環規, 塞規...等), 或者是不連續的幾個已定義的群組 (例如: 灰度計)。

量測誤差有兩種: (以火災煙霧偵測器為例)

	沒有火	失火
沒警報	正確	第二型錯誤
有警報	第一型錯誤	正確

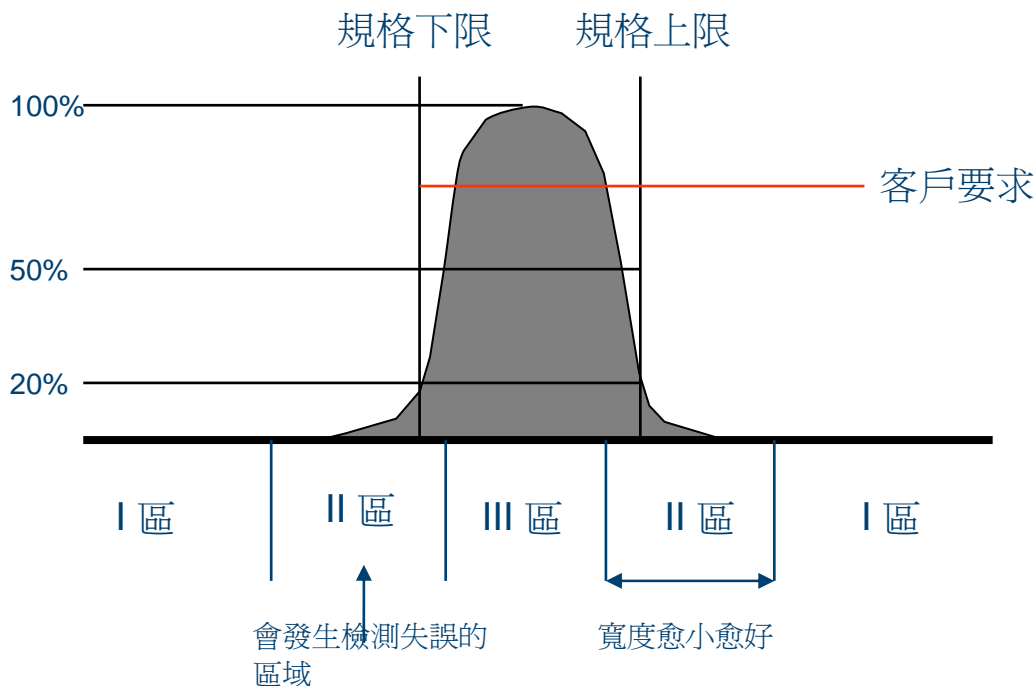
第一型錯誤: 良品判斷為不良品, 廠內風險
 第二型錯誤: 不良品判斷為良品, 客戶風險

實務運用上, 我們比較擔心第二型錯誤, 故會將警報器調的敏感一些 (工廠檢驗設定則是將規格內縮), 寧可殺錯不會放過。但如此則造成經常性的假警報 (工廠檢驗則造成很多失敗成本)。最好的作法是將儀器的誤差範圍儘量縮小, 亦即下圖的 II 區 (會造成第 I & II 型錯誤的區域, 通常會在規格界線值往兩邊延伸)。

BSI
 5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
 Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
 F: +886-2656-0222
 www.bsigroup.tw





短期法分析(short method): 兩個人，20 個樣品，每人對每個樣品各量兩次。若每樣品兩人量兩次都一致，則判定此儀器可接受。這是 MSA 第二版所介紹的針對計數型儀器最簡易的方法，到現在還是有很多人在使用 (雖然第三版已刪除此手法)。但須注意的是樣品最好能包括 II 區，才能更客觀的反映出 MSA 結果的有效性。

Kappa 風險分析 (Kappa risk analysis): 此法最為業界廣泛使用。主要能顯示兩個群體表現的一致性的程度，若是比對兩個人量測一致性的結果 (如 MSA 手冊圖表 III-C 1, A,B,C 三個評價人，有 50 個樣本，每人對每個樣品量三次)，可整理成下表 交叉比對表:

A 評價人	B 評價人		Total
	NG	OK	
NG 數	44	6	50
期望值	15.7	34.3	50.0
OK 數	3	97	100
期望值	31.3	68.7	100.0
Total	47	103	150
期望總數	47.0	103.0	150.0

BSI
5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
F: +886-2656-0222
www.bsigroup.tw



A 和 B 一致的有 $44+97=141$ 個，不一致的有 $6+3=9$ 個

是故 P_0 (判斷一致率) = $141/150=0.94$

P_e (期望數機率) = $(15.7+68.7)/150=0.563 \rightarrow$ 光靠運氣就能猜對的機率

$Kappa = (P_0 - P_e) / (1 - P_e) = 0.86$ 此指數在扣掉運氣成分，所得到真實之一致性之性能指標。

將 ABC 三個評價人做三個交叉比對表，我們得出其 Kappa 指數，所代表之意義即為類似計數型之再生性：

Kappa	A	B	C
A	-	0.86	0.78
B	0.86	-	0.79
C	0.78	0.79	-

我們也能將 ABC 三個評價人與樣品標準值做三個交叉比對表，算出三個 Kappa 值，所代表之意義即為類似計數型之偏倚：

	A	B	C
Kappa	0.88	0.92	0.77

Kappa 值不會超過 1，允收值須為 0.75 以上。若低於 0.4 代表其一致性非常差。若此儀器所量測之特性為重要或關鍵特性，Kappa 指數需列入優先之持續改善清單之中。

假設檢定分析：此法可和上述 Kappa 風險分析法相互印證。引用同一數據 (MSA 手冊圖表 III-C 1)，我們可以得出一個以 95% 信賴水準的誤差分布比對表：

每位評價者的 **score** 都落在彼此的信賴區間內 (95% UCI 與 LCI 之間)，故原始假設 H_0 成立，故三者具一致性，此可和之前的 Kappa 分析互相印證。

BSI
5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
F: +886-2656-0222
www.bsigroup.tw



Source	評價者自我的一致性			評價者自我一致且與標準一致		
	A	B	C	A	B	C
總檢查數	50	50	50	50	50	50
#Matched	42	45	40	42	45	40
一致漏失				0	0	0
一致誤警報				0	0	0
混合				8	5	10
95% UCI	93%	97%	90%	93%	97%	90%
Score	84%	90%	80%	84%	90%	80%
95% LCI	71%	78%	66%	71%	78%	66%
	三位評價者皆一致的次數			三位評價者皆一致且和標準一致		
總檢查數		50			50	
一致次數		39			39	
95% UCI		64%			64%	
Score		78%			78%	
95% LCI		89%			89%	

貝氏理論分析(Bayes' theorem): 運用機率來運算，可以得知若判斷結果為 NG，實際上真正是 NG 的機率有多少，當然也可算出若判斷結果為 OK，實際上真正是 OK 的機率有多少。故此方法能夠將第 I 型與第 II 型錯誤做數據化呈現，讓組織了解失誤風險。不過 MSA 手冊並未提出允收標準，主要原因是需總體考量：對客戶之衝擊，量具性能極限，成本等，方能做出客觀判定。

信號探測法(Signal detection approach): 一種可選擇的方法是用信號探測理論來確定一個區域 II 寬度近似值，並因此確定測量系統 GR&R。

由 MSA 手冊圖表 III-C8，我們可以算出兩個 II 區的平均距離: $d=0.0237915$

而 $d = 6 \sigma_{GR\&R}$ 故 $\sigma_{GR\&R} = 0.003965$

規格公差是 0.1，故 $TV = 0.1/6 = 0.016667$

故 $\%GR\&R = \sigma_{GR\&R} / TV = 24\%$ ，此結果和本 MSA 手冊計數型 GR&R 分析之結果(26.68%)差不多(也是使用 GR&R 的同一組數據，但改成計量型儀器)。兩者再次相互印證。

無再現性檢測儀器(Non-replicable measurement system)；包括破壞性與非破壞性檢測儀器：

非破壞性之檢驗如：引擎動力測試機，分析化學成分之分光儀，漏氣測試機…等。

BSI

5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333

F: +886-2656-0222

www.bsigroup.tw



破壞性之檢驗如：測機械強度之萬能試驗機，鹽霧測試，剝離拉力試驗機，設置於生產線上全自動檢測機(無法從線上移出來單獨測試再生再現性)。

雖然此類檢驗無法再現，但可變通辦法，一樣可以得出偏倚與 GR&R 之結果。

MSA 手冊列出二個類別：

- (1) **穩定性分析(stability study)**: 即類似計量型儀器之精準性分析(偏倚)與穩定性分析(長期之偏倚變異量)。假如我們要分析萬能試驗機的拉力測試，可取同一批生產出來的鋼棒，切成數百段等長之短鋼棒，這時我們可以假設這些鋼棒的拉伸強度應該相同(當然也須事先了解製程的長期穩定性與變異性是夠小的)，但須注意：樣品在整個 MSA 研究測試期間，需確保鋼棒的拉伸強度不會變動。也要找更精準的方法先得出其相近真值(true value)或參考值(reference value)。每週取五件做測試，並和相近真值或參考值做比對，連續 25 周以上，就可畫出至少 25 個點的 X-bar R 管制圖。分析手法則同管制圖之判讀準則，若未觀察到特殊趨勢或有任何點超出管制界限，則判定此偏倚量測無存在特殊原因，穩定性可接受。偏倚分析之判斷則依據抽樣誤差與信賴區間 95% 之水準，只要 0 點座落於偏倚誤差 1.96σ 之內，代表量測誤差和 0 點相距很近，判定偏倚可以接受。不過偏倚的分析結果須先和其儀器再現性(repeatability)對比，若再現性相對於製程變異可以接受，代表儀器本身的變異夠小，不致使 95% 的信賴區間擴的太大，偏倚的分析才算有效。
- (2) **變異性分析(Variability study)**: 即類似計量型儀器之精密性分析(GR&R)。假如我們要分析萬能試驗機的拉力測試，可取同一批生產出來的鋼棒，取 10 條鋼棒，每條切成九段等長之短鋼棒，這時我們可以假設這些鋼棒的拉伸強度應該相同(當然也須事先了解製程的長期穩定性與變異性是夠小的)。找三個評價人，每人對每一條鋼棒所切成之短鋼棒取三個測三次，三人共九次。依此類推做完剩下的九條，共得到 90 個數據。依 GR&R 表格依次填入，即可算出 EV, AV, PV, TV, %GR&R 以及 ndc 等數據。判斷方式則同 GR&R 分析之允收標準。

其他不同狀況之量測特性可參考 MSA 手冊，穩定性分析有 S1 到 S5 五種類型之分析手法，變異性有 V1 到 V9 九種類型之分析手法。

總結：

MSA 第四版雖然更新某些重要概念，但基本原則與分析手法沒有變動。對 MSA 之分析不同人，不同產業會有不同之思維與看法，但都不會跑出這本 MSA 所提到的原則。各種爭議都可回歸到這些原則。

我們也相信，MSA 手冊會繼續依業界使用的情況，常犯錯誤以及內容仍不夠清晰之處，不斷地改版，以持續提升契入讀者的需求。

BSI
5th Floor, No.39, Ji-Hu Road Nei-Hu Dist.,
Taipei 11492, Taiwan

T: +886-2656-0333
F: +886-2656-0222
www.bsigroup.tw

