

品質與可靠度工程實驗室

Quality and Reliability Engineering Lab.

# 田口品質工程 (Taguchi)

主講：童超塵

# 議程

1. 田口品質工程簡介

2. 品質損失函數

3. 靜態參數設計

4. 直交表

5. Minitab統計軟體演練

單元一：

田口品質工程簡介

# 品質工程發展史

- 二次戰後，日本進行戰後復建時，面臨高品質原料、生產設備和有技術之工程師等嚴重短缺的問題。在此惡劣條件下，生產高品質產品與不斷改善品質便成為一項具有挑戰且急需解決的問題。
- 1947年，日本為了解決通信品質低落的問題，成立電器通信實驗室(Electronic Communication Laboratory)，初期規模與預算不如美國貝爾實驗室。在資源不足、缺少高品質機台下，只有靠著調整機台參數設定來提升交換機生產的品質。



# 品質工程發展史

- 在1949年，田口玄一（Genichi Taguchi）博士於日本電信實驗室工作時，發現傳統實驗設計方法在實務上並不適用，逐漸發展了「品質工程」的基本原理。利用此方法，生產了高品質的交換機。
- 田口所發展的是一透過實驗進行系統參數最佳化設計的方法，重視實際的應用性，而非以困難的統計為依歸，田口方法是用來改善品質的工程方法，在日本稱之為品質工程（quality engineering）。
- 田口方法自發明至今，已受到全世界（工業界與學術界）的肯定與尊崇。

# 基本概念

- 穩健設計 (robust design) 是透過工程最佳化的方式來進行品質改善的方法，所謂「穩健」是指所設計產品品質受到周圍環境影響的敏感度為最小。
- 田口方法 (Taguchi methods)，就是一種穩健設計的實驗方法。
- 品管活動可分為線上 (on-line) 品管與線外 (off-line) 品管兩類，田口對於線上和線外品管都有其獨特看法，但以後者最為有名因此品質工程就是指線外品管而言。

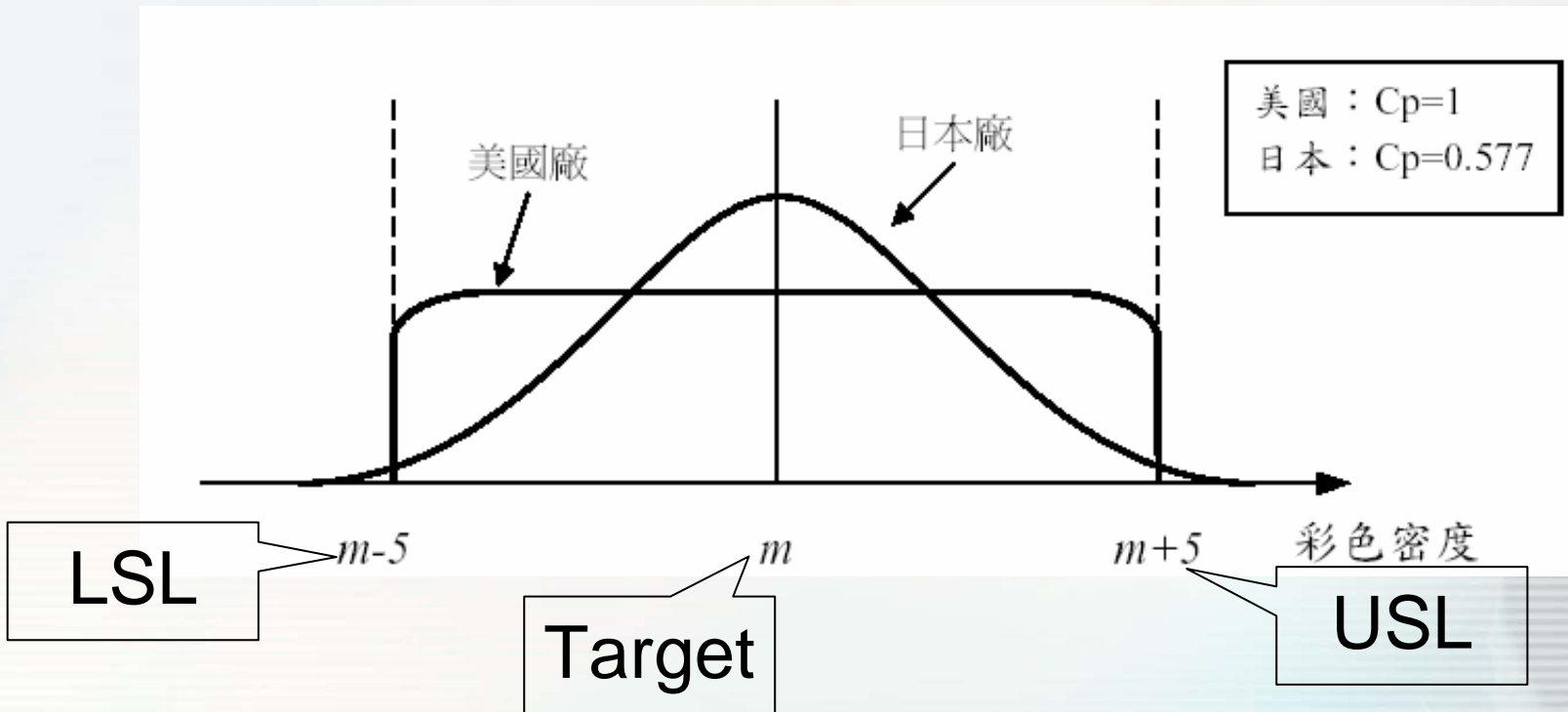
# 基本概念

- 田口方法是要降低變異原因的影響，而不是去除變異的原因，來改善品質；田口方法將各種變異極小化，使得產品對變異的來源最不敏感。

Ex： $m$  代表電視機彩色密度目標值，而  $m \pm 5$  是可容忍的製程偏差。日本廠的產品品質特性呈一個近似常態分配，平均值在目標值上。美國廠的產品品質特性則呈一個近似在  $m \pm 5$  內之均勻分配。

# 基本概念

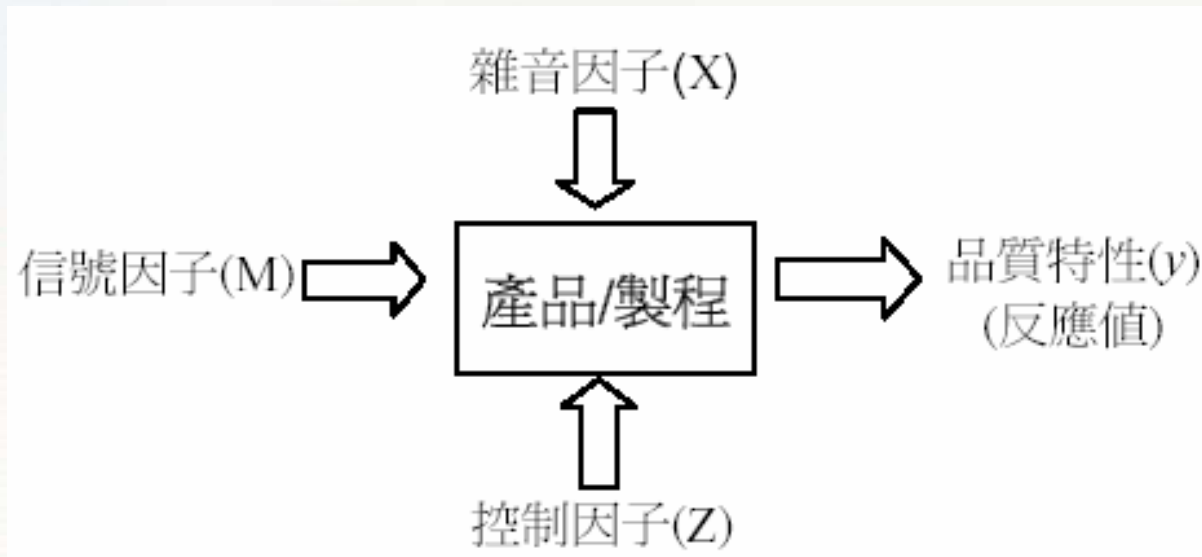
- 日本廠產品大部分集中在目標值附近，亦即靠近  $m$ （變異較小，性能較佳）的產品，美國廠產品遠離  $m$ （變異較大，性能較差），超出產品規格機會較大。





# 產品/製程之參數

- 對任一個產品或製程，我們可以繪出參數圖，如圖3所示，其中 $y$ 表示所欲探討的品質特性或回應值（response）。影響 $y$ 的參數可以分為信號因子（M）、控制因子（Z）和雜音因子（X）三類。茲將此三類參數分述如下：



# 產品/製程之參數-信號因子

- 信號因子 (signal factor)：由設計工程師依據所開發產品的工程知識來選擇，以表達所想的回應值。當 $y$ 的目標值改變時，我們可調整信號因子，使 $y$ 的平均值與目標值一致。
- 例如：1. 電風扇轉速設定是一信號因子，藉由轉速的設定可改變風量的大小。2. 射出成型時，藉由壓力的增加，可使產品的尺寸更接近模具尺寸。3. 汽車方向盤的轉向角度，可以指示汽車的迴轉半徑。
- 通常信號因子與回應值間具有輸入與輸出的關係，譬如汽車駕駛時踩油門的大小會影響汽車速度的快慢。

# 產品/製程之參數-控制因子

- 控制因子 (control factor) 係其水準可由設計人員掌握且決定的。事實上，設計人員必須決定控制因子的水準，使 $y$ 的損失最小。
- 例如：在一複晶矽沉積過程中，品質特性為晶片表面缺陷數，而影響此一品質特性的控制因子有沉積溫度、沉積壓力、氮流量和矽流量等。設計人員可指定需要的「設定值」，譬如沉積溫度為 $100^{\circ}\text{C}$ 或 $200^{\circ}\text{C}$ （亦或 $300^{\circ}\text{C}$ ）。
- 通常認為控制因子水準改變時，並不會造成製造成本增加。

# 產品/製程之參數-雜音因子

- 設計人員所無法控制的參數稱為雜音因子 (noise factor)。雜音因子的水準會隨環境而變化，因此無法確知某特定情況下的雜音因子值。
- 例如：路面的乾溼會影響汽車的煞車距離，但是，路面的乾溼是無法控制的，所以路面的乾溼是雜音因子。
- 通常僅掌握雜音因子的一些特性，如平均值和變異數。雜音因子會影響回應值 $y$ 偏離目標值而帶來損失。
- 凡是參數的水準不容易控制或必須花費高成本來控制的參數，皆可視為雜音因子。



# 田口品質工程學

- 品質工程主要討論的範疇為線外品管活動，即如何降低雜音因子對產品品質特性的干擾影響。
- 田口進一步將線外品質管制分成系統設計、參數設計與允差設計等三個階段。

系統設計(創新)

選擇較佳的設計概念



參數設計(最佳化)

最佳化系統設計參數水準  
(雜音對系統效果最小化)



允差設計(最適化)

確定最佳化設計參數之公差



# 田口品質工程學

- 系統設計（system design）：又稱為概念設計（concept design）主要是檢視各種可能達成「想要的機能」的系統或技術，然後選擇一個最適當的。

例如：選定系統所需之材料、零件，或選擇一個合適的電路圖或適當的製造程序是這類活動的例子。

- 參數設計（parameter design）：決定系統設計參數的水準。在這階段中，主要是要最佳化「系統設計」，利用實驗以確定控制因子水準的組合，使系統對雜音因子的敏感度為最低，而提升系統的穩健性。

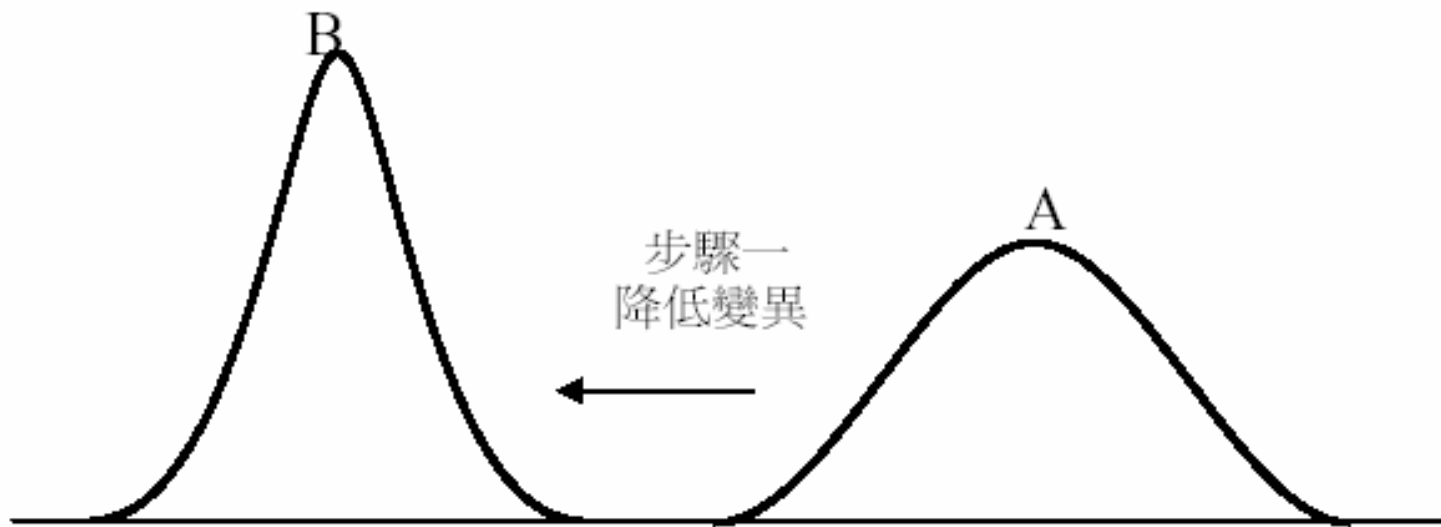
# 田口品質工程學

- 允差設計（tolerance design）：利用成本與品質的平衡方法來考慮允差設計。
- 允差設計階段主要是要調整公差範圍以最佳化設計參數。當產品的品質未能滿足顧客要求，我們需增加製造成本以降低產品的變異，減少品質損失。
- 例如我們可以依照零件或材料的成本效益順序，選擇一些因子來調整公差，以降低變異提高品質。

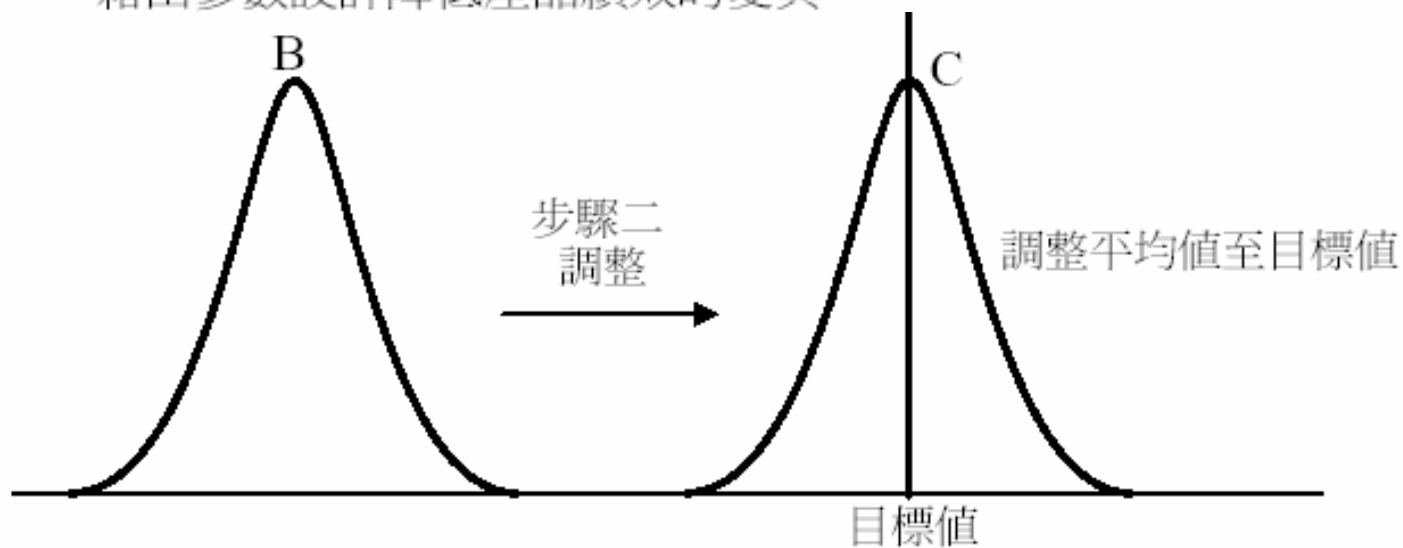
# 兩階段最佳化程序

- 參數設計是一套希望找出一組控制因子的處理組合，使得製程或產品對於外界的環境的敏感度為最低，即此產品的穩定性最高、變異最小、損失最小（成本最小）。
- 在實際的產品中，為了要能保持平均值靠近目標值，首先必須降低績效的變異。一旦影響變異的最佳控制因子決定之後，我們就可以集中精神於調整平均值至目標值上，以滿足顧客對產品的期望，這個過程稱為兩階段最佳化過程。

# 兩階段最佳化程序



藉由參數設計降低產品績效的變異





# 單元二：

## 品質損失函數

望小品質特性

望大品質特性

對稱望目品質特性

非對稱望目品質特性



# 品質損失

- 當產品品質不良時，將為生產者帶來損失。
- 品質是指產品出廠後所帶給社會的損失，但不包括機能本身所引起的損失。
- 田口博士認為，一產品的品質為該產品因未能充分發揮其原有的機能而產生的損失，而因機能本身所發生的損失除外。
- 品質特性有望小品質特性、望大品質特性、望目品質特性。

# 望小品質特性損失函數

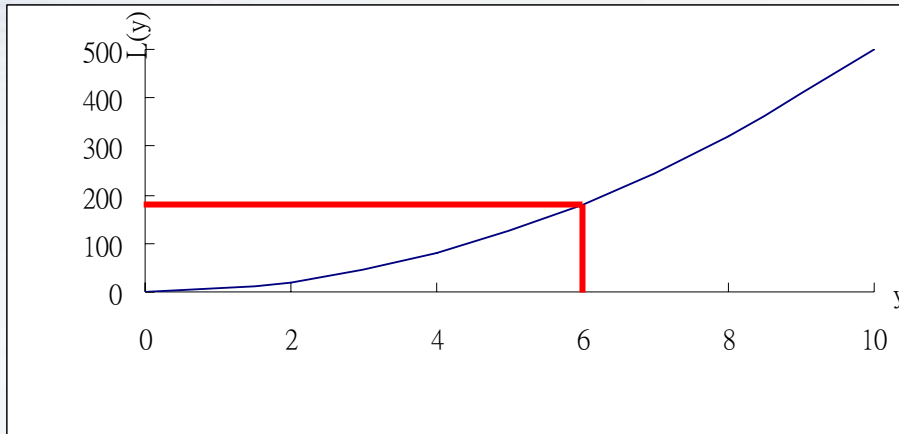
- 當品質特性 $y$ 越小，品質越佳，此為望小特性（smaller-the-better, STB），特性值 $y > 0$ ，目標值 $m = 0$
- 望小品質特性損失函數： $L(y) = ky^2$
- 期望損失為： $L_{STB} = k[\bar{y}^2 + s^2]$
- $K$ 為品質損失係數

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

# 望小品質特性損失函數

- 當 $y$ 大於6時，損失180元， $k=?$



$$L(y) = ky^2$$

$$180 = 6^2 \times k \quad k = 5$$

$$L(y) = 5y^2$$

- 某產品具有望小品質特性，此品質特性 $y$ 的量測數據為2、4、6、8，求此量測數據期望損失 $L_{STB}$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = \frac{2+4+6+8}{4} = 5$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \frac{(2-5)^2 + \dots + (8-5)^2}{4-1} = 6.6667$$

$$L_{STB} = k[\bar{y}^2 + s^2] = 5 \times [5^2 + 6.6667] = 158.333 \text{ 元/件}$$

# 望大品質特性損失函數

- 當品質特性 $y$ 越大，品質越佳，此為望大特性（larger-the-better, LTB），目標值 $m = \infty$
- 望大品質特性損失函數： $L(y) = k/y^2$
- 期望損失為：

$$L_{LTB} = k \left( \frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left[ 1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right]$$

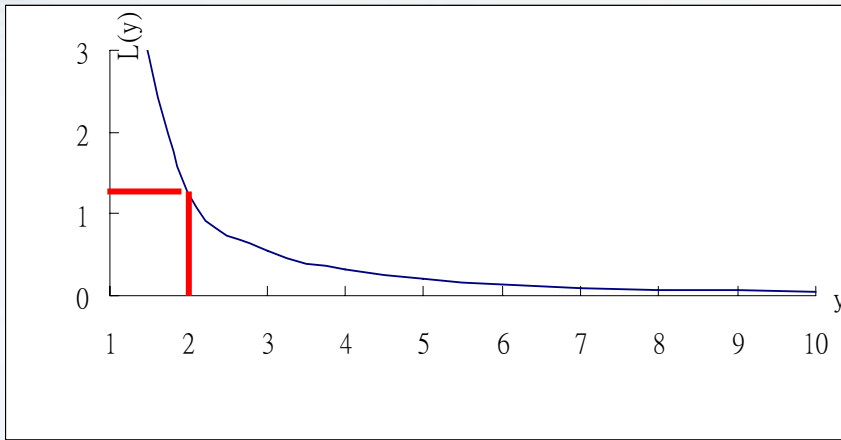
- $K$ 為品質損失係數

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

# 望大品質特性損失函數

- 當 $y$ 小於2時，損失1.25元， $k=?$



$$L(y) = k/y^2$$

$$1.25 = k/6^2 \quad k = 5$$

$$L(y) = 5/y^2$$

- 某產品具有望大品質特性，此品質特性 $y$ 的量測數據為2、4、6、8，求此量測數據期望損失 $L_{LTB}$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 5 \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 6.6667$$

$$L_{LTB} = k \left( \frac{1}{\bar{y}^2} \right) \left[ 1 + \frac{3s^2}{\bar{y}^2} \right] = \frac{5}{5^2} \times \left[ 1 + \frac{3 \times 6.6667}{5^2} \right] = 0.36 \text{ 元/件}$$



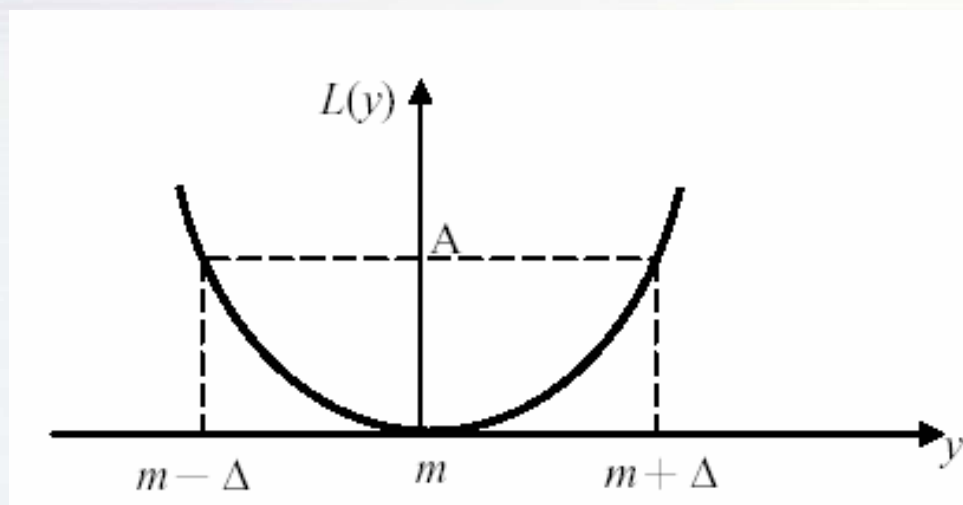
# 對稱望目品質特性損失函數

- 當品質特性 $y$ 有理想的目標值 $m$ ， $y$ 越接近 $m$ 則品質越佳，此為望目特性（nominal-the-best，NTB）
- 望目品質特性損失函數： $L(y) = k(y - m)^2$
- 期望損失為： $L_{NTB} = k \left[ (\bar{y} - m)^2 + s^2 \right]$
- $k$ 為品質損失係數

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$$

# 對稱望目品質特性損失函數



• 某汽車零件尺寸要求 $45 \pm 0.05\text{mm}$ ，超出此規格，更換成本為200元，求 $k=?$ ，損失函數為何？

$$L(y) = k(y - m)^2$$

$$200 = 0.05^2 \times k \quad k = 80000$$

$$L(y) = 80000(y - m)^2$$

# 對稱望目品質特性損失函數

• 某機器生產出的尺寸如下，求平均期望損失

$$45.00 \quad 44.97 \quad 45.01 \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i = 44.984$$

$$44.95 \quad 45.02 \quad 44.99$$

$$45.01 \quad 45.04 \quad 44.92 \quad s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = 0.0016$$

$$44.93$$

$$L_{NTB} = k[(\bar{y} - m)^2 + s^2] = 80000 \times [(44.984 - 45)^2 + 0.0016] = 152$$

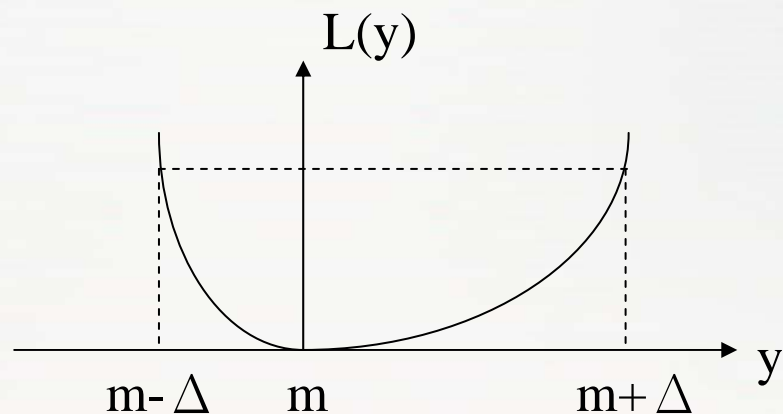
每件產品平均期望損失為  
152元

# 非對稱望目品質特性損失函數

- 某些產品的特性對目標值兩邊的偏離有不同的後果，即品質損失不對稱於目標值。

- 損失函數

$$L(y) = \begin{cases} k_1(y-m)^2 & y > m \\ k_2(y-m)^2 & y \leq m \end{cases}$$



- 此品質特性在實務上比較容易發生，例如：工件（workpiece）研磨，若研磨後尺寸大於規格上限，只要在花小成本進行加工，研磨工件尺寸至規格範圍（損失成本小），若研磨後尺寸小於規格下限，此工件報廢（損失成本大）。

# 非對稱望目品質特性損失函數

• 某冰箱溫度變化，目標值 $40^{\circ}\text{F}$ ，若超過 $50^{\circ}\text{F}$ 食物腐敗，低於 $30^{\circ}\text{F}$ ，產生冰結晶，都會造成損失，若超過 $50^{\circ}\text{F}$ 損失150元（包寒食物置換，冰箱維修），若低於 $30^{\circ}\text{F}$ ，損失120元。 $k_1=?$ 、 $k_2=?$

$$150 = k_1(50 - 40)^2 \quad k_1 = 1.5$$

$$120 = k_2(30 - 40)^2 \quad k_2 = 1.2$$

$$L(y) = \begin{cases} 1.5(y - m)^2 & y > m \\ 1.2(y - m)^2 & y \leq m \end{cases}$$



## 單元三：

# 靜態參數設計

參數設計實驗配置

訊號雜音比 (SN比)

參數設計程序

計量值資料分析

兩階段最佳化程序

確認性實驗

# 參數設計

- 參數設計主要目的是要決定產品或製程的參數設定值，使對雜音變數的敏感性最小。
- 田口認為不同參數水準組合，產品的品質特性平均值與變異數均不同。
- 藉由參數設計，可找出一組最佳參數水準組合，使平均值與目標值一致，且變異最小。

# 參數設計實驗配置

- 田口方法利用直交表來收集資料，能讓我們以較少的實驗而獲得更可靠的因子效果估計量。利用直交表進行實驗是穩健設計的一個重要技巧。
- 參數設計實驗是由外側直交表和內側直交表所構成，透過直交表來配置各因子的水準組合，以進行實驗。



# 參數設計實驗配置

L8

直  
交  
表

內側直交表

外側直交表

O	1	2	2	1
N	1	2	1	2
M	1	1	2	2

A B C D E F G

數據

No 1 2 3 4 5 6 7 Y1 Y2 Y3 Y4

1 1 1 1 1 1 1 1

2 1 1 1 2 2 2 2

3 1 2 2 1 1 2 2

4 1 2 2 2 2 1 1

5 2 1 2 1 2 1 2

6 2 1 2 2 1 2 1

7 2 2 1 1 2 2 1

8 2 2 1 2 1 1 2

由外側直交表得知  
需要重覆四次實驗

回應值

# 訊號雜音比 (SN比)

- 訊號雜音比 (Signal-to-Noise, SN比) 是設計用來最佳化一產品或製程的穩健性。
- 田口定義好的品質：1. 品質特性平均值與目標值一致。2. 品質特性變異越小越好。而SN比考慮到品質特性的平均數與變異數。
- 通常稱可預測部分為訊號 (Signal)，不可預測的部份為雜音 (Noise)，穩健設計的目的是要最大可預測部分，最小化不可預測部分。
- SN比原自於通信工程，以統計方法可以表達成
- SN比習慣以  $\eta$  表示。

$$\eta = 10 \times \log_{10} \left( \frac{\text{信號}}{\text{雜音}} \right)$$



# 訊號雜音比 (SN比)

- 各種品質特性的SN比計算式如下

望目特性  $\eta_{NTB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right)$

望大特性  $\eta_{LTB} = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$

望小特性  $\eta_{STB} = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right)$

- 三種品質特性，若SN比越大表示變異越小

# 參數設計程序

- 步驟1. 了解問題

(1) 定義系統目標／範圍：包含定義系統的目標、系統或子系統 (subsystem) 的範圍、選擇專案負責人及其成員、發展專案運作策略。

(2) 選擇回應值：此步驟主要是確認主要功能、副作用和失效型態，建立想要達成的結果，選擇回應值或理想機能（理想機能為信號因子與品質特性的理想關係式）及決定量測的方式。

- 步驟2. 選擇因子和水準

(1) 發展信號因子和雜音策略：決定信號因子的範圍、重要的雜音因子及其水準、發展雜音策略。

(2) 辨認控制因子及其水準：辨認所有的控制因子、選擇重要的控制因子及其水準。

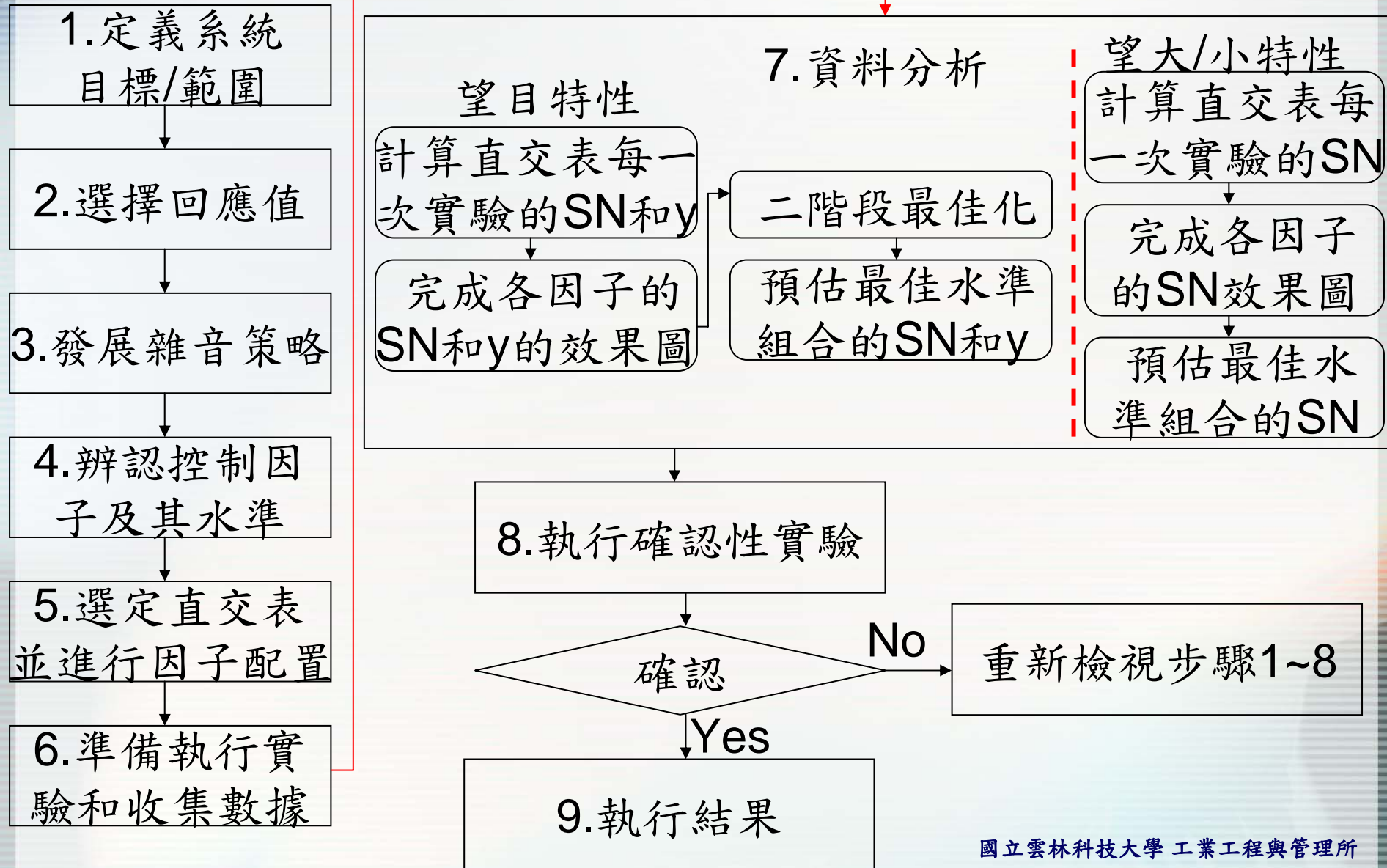
- 步驟3. 選擇適用之直交表

選定適用之直交表並指派控制因子至直交表中。

# 參數設計程序

- 步驟4. 準備及執行實驗，收集數據：準備／規劃實驗，並執行實驗，收集數據。
- 步驟5. 根據品質特性計算直交表中每一次實驗的SN比與 $y$ 。
- 步驟6. 完成並解釋各因子對於SN比與 $y$ 的效果圖，執行二階段最佳化程序。
- 步驟7. 決定控制因子的最佳水準組合，並預估其SN比和 $y$ 。
- 步驟8. 執行確認實驗：田口建議要進行確認實驗，如果確認實驗結果與預估的結果不吻合（或不滿意），那麼表示實驗的過程失敗，必須重新規劃實驗。
- 步驟9. 結論與建議：當確認實驗成功，將控制因子的最佳水準組合納入系統中執行。

# 參數設計程序





# 計量值資料分析-無交互作用

- 探討煮茶葉蛋的參數，影響茶葉蛋口感的因子有鹽量、茶葉、滷蛋時間，每個因子各設兩個水準，1~10分來評估茶葉蛋口感，分數越高口感越好（望大品質特性），每個因子水準組合各平分兩次。

因子	因子符號	水準1	水準2
鹽量	A	少量	多量
滷蛋時間	B	2小時	2.5小時
茶葉種類	C	甲茶葉	乙茶葉



# 計量值資料分析-無交互作用

	A	B	C	分數		
No	1	2	3	y1	y2	SN比 ( $\eta$ )
1	1	1	1	6	8	$-10 \cdot \log[(1/6^2+1/8^2)/2]=16.635$
2	1	2	2	7	8	$-10 \cdot \log[(1/7^2+1/8^2)/2]=17.443$
3	2	1	2	3	4	$-10 \cdot \log[(1/3^2+1/4^2)/2]=10.615$
4	2	2	1	9	10	$-10 \cdot \log[(1/9^2+1/10^2)/2]=19.518$

$$\eta_{LTB} = -10 \cdot \log_{10} \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right)$$

# 計量值資料分析-無交互作用

	A	B	C	分數		
No	1	2	3	y1	y2	SN比 ( $\eta$ )
1	1	1	1	6	8	16.635
2	1	2	2	7	8	17.443
3	2	1	2	3	4	10.615
4	2	2	1	9	10	19.518

求A因子水準1的SN  
加總(以A1表示)

求A因子水準2的SN  
加總(以A2表示)

$$A1=17.0392$$

$$A2=15.0664$$

# 計量值資料分析-無交互作用

No	A	B	C	分數		SN比 ( $\eta$ )
	1	2	3	y1	y2	
1	1	1	1	6	8	16.635
2	1	2	2	7	8	17.443
3	2	1	2	3	4	10.615
4	2	2	1	9	10	19.518

求B因子水準1的SN  
加總(以B1表示)

求B因子水準2的SN  
加總(以B2表示)

$$B1=13.6248$$

$$B2=18.4808$$

# 計量值資料分析-無交互作用

	A	B	C	分數		
No	1	2	3	y1	y2	SN比 ( $\eta$ )
1	1	1	1	6	8	16.635
2	1	2	2	7	8	17.443
3	2	1	2	3	4	10.615
4	2	2	1	9	10	19.518

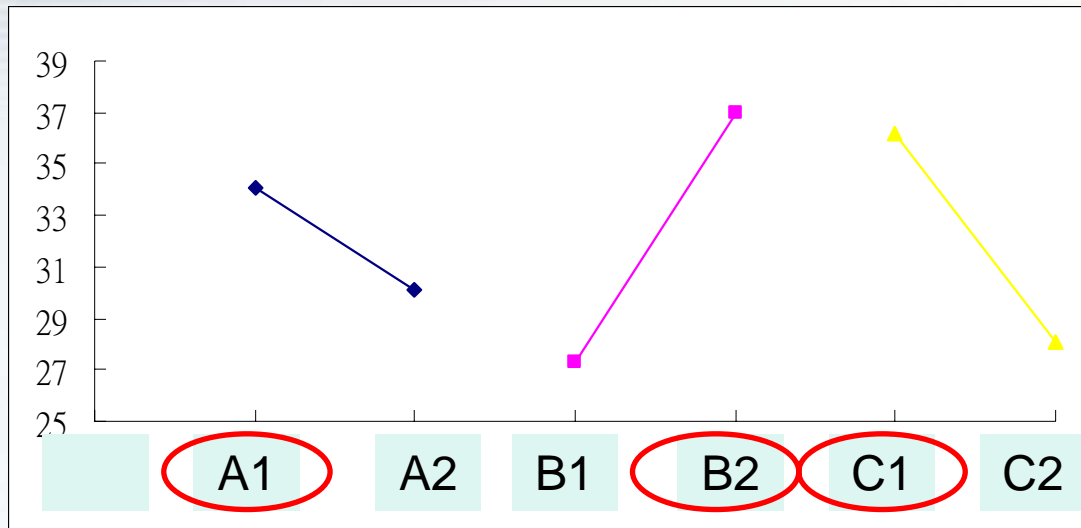
求C因子水準1的SN  
平均(以C1表示)

求C因子水準2的SN  
平均(以C2表示)

$$C1=18.0767$$

$$C2=14.0289$$

# 計量值資料分析-無交互作用



選SN比最大的水準  
最佳參數A1B2C1

鹽量選少量

滷蛋時間選2.5小時

茶葉種類選甲

	A	B	C
水準1	17.0392	13.6248	18.0767
水準2	15.0664	18.4808	14.0289
差異	1.9728	4.856	4.0478
排序	3	1	2

B因子差異性最大，表示滷蛋時間對口感好壞影響最大

3水準的差異計算方式：最大的平均SN比值-最小平均SN比值



# 計量值資料分析-無交互作用

- 某一案例有3水準因子4個，品質特性為望小特性，實驗規劃與結果如下

	A	B	C	D	y1	y2	y3	y4	y5	SN
1	1	1	1	1	69.7	72.4	55	65.3	68.7	-36.3821
2	1	2	2	2	78.6	75.3	67.2	70.3	72.3	-37.2644
3	1	3	3	3	74.6	70.2	65.3	71.6	68.9	-36.9644
4	2	1	2	3	83.2	90.2	75.4	88.1	91.3	-38.5286
5	2	2	3	1	93.6	93.4	104.8	101.3	97.8	-39.8598
6	2	3	1	2	98.3	105	115	108.6	110.3	-40.5792
7	3	1	3	2	124	110	122.9	115.3	117.8	-41.4515
8	3	2	1	3	117	101	113	105.6	114.6	-40.7746
9	3	3	2	1	114	111	109.3	105.3		-40.8235

$$SN = -10 \log(\sum Y^2/n) = -10 \log[(69.7^2 + 72.4^2 + \dots + 68.7^2)/5] = -36.3821$$

# 計量值資料分析-無交互作用

因子	A	B	C	D
水準1	-36.8703	-38.7874	-39.2453	-39.0218
水準2	-39.6559	-39.2996	-38.8722	-39.7651
水準3	-41.0166	-39.4557	-39.4252	-38.7559
差異	4.1462	0.6683	0.5531	1.0092
排序	1	3	4	2


$$-36.8703 - (-41.0166) = 4.1462$$

- 3水準的差異計算方式：最大的平均SN比值-最小平均SN比值
- 最佳的因子水準為A1B1C2D3

# 計量值資料分析-交互作用

- 有5個二水準的因素 (A、B、C、D、E)，交互作用有  $B^*C$  及  $C^*D$ ，請作直交表的因素配置

控制因素	水準 1	水準 2
A：原材料	M-270	M-90
B：停留時間	2.7 SEC	2.2 SEC
C：焊鎗溫度	410°F	100°F
D：拼裝壓力	60 lb	80 lb
E：焊接方法	音波法	電阻法

- 交互作用  $B^*C$  與  $C^*D$
- 品質特性  $Y =$  推力 (望大品質特性)

# 計量值資料分析-交互作用

	C	B	BC	D	CD	A	E	Y1	Y2	SN比 ( $\eta$ )
1	1	1	1	1	1	1	1	38	35	31.22
2	1	1	1	2	2	2	2	40	46	32.61
3	1	2	2	1	1	2	2	57	52	34.70
4	1	2	2	2	2	1	1	45	55	33.85
5	2	1	2	1	2	1	2	41	48	32.89
6	2	1	2	2	1	2	1	28	24	28.22
7	2	2	1	1	2	2	1	26	25	28.13
8	2	2	1	2	1	1	2	35	41	31.51

$$\eta = -10 \times \log \left( \frac{1}{n} \sum_n \frac{1}{y_i^2} \right) = -10 \times \log \left[ \frac{1}{2} \left( \frac{1}{38^2} + \frac{1}{35^2} \right) \right] = 31.22$$

# 計量值資料分析-交互作用

	C	B	BC	D	CD	A	E
水準1	33.075	31.225	30.85	31.725	31.4	32.35	30.35
水準2	30.175	32.025	32.4	31.525	31.85	30.9	32.925
差異	2.9	0.8	1.55	0.2	0.45	1.45	2.575
排序	1	5	3	7	6	4	2

取前四個影響最大的因子，分別為C、E、BC、A，  
其它的因子（B、D、CD）水準之間差異不大，  
所以可以忽略。

最佳的參數水準：C1、E2、A1、BC

B1C1、B1C2、B2C1、B2C2

四個組合要選哪一個???



# 計量值資料分析-交互作用

No	C	B	SN
1	1	1	31.22
2	1	1	32.61
3	1	2	34.70
4	1	2	33.85
5	2	1	32.89
6	2	1	28.22
7	2	2	28.13
8	2	2	31.51

$$\longrightarrow B1C1 = (31.22 + 32.61) / 2 = 31.92$$

$$\longrightarrow B2C1 = (34.70 + 33.85) / 2 = 34.28$$

$$\longrightarrow B1C2 = (32.89 + 28.22) / 2 = 30.56$$

$$\longrightarrow B2C2 = 29.82$$

	B1	B2
C1	31.92	34.28
C2	30.56	29.82

B2C1的SN比最大所以

最佳的參數水準：C1、B2、E2、A1

# 兩階段最佳化程序

- 由於望大與望小的品質特性的目標值分別為 $\infty$ 和0，所以對此特性問題通常不使用兩階段最佳化程序。
- 望目品質特性具有一目標值，因此除了可以利用SN比來最小化變異外，也可以利用調整因子將平均值調至目標值，此稱作兩階段最佳化程序。
- 階段I：最大化SN比，以降低變異。
- 階段II：調整平均值至目標值上

# 兩階段最佳化程序

- 因子水準的選擇

1. 對SN比和平均值都有影響的因子，選擇最大化SN比的水準。
2. 只對平均值有影響的因子，稱為調整因子。
3. 只對SN比有影響的因子，選最大化SN比的水準。
4. 對SN比和平均值都沒有影響的因子，可以由其他面考慮水準的選擇，例如：操作容易、成本因素

# 兩階段最佳化程序

- 某一產品的規格為 $150 \pm 15$ inch（望目品質特性），影響規格的因子有A、B、C、D、E五個因子，每個因子各設兩個水準，選用一L8直交表進行實驗配置，給個因子的水準組合各收集四筆實驗數據，決定其最佳參數。

# 兩階段最佳化程序

	C	E	B	A	D	y1	y2	y3	y4	y平均	S <sup>2</sup>	SN (η)
1	1	1	1	1	1	137	142	161	158	149.5	139	22.063
2	1	1	1	2	2	152	140	137	137	141.5	51	25.939
3	1	2	2	1	1	171	160	170	168	167.25	24.917	30.502
4	1	2	2	2	2	151	153	156	149	152.25	8.9167	34.149
5	2	1	2	1	2	164	157	151	156	157	28.667	29.344
6	2	1	2	2	1	162	155	168	160	161.25	28.917	29.539
7	2	2	1	1	2	153	154	150	143	150	24.667	29.601
8	2	2	1	2	1	135	139	136	134	136	4.667	35.981

規格  $150 \pm 15$  inch

$$S^2 = \frac{(137 - 149.5)^2 + \dots + (158 - 149.5)^2}{4 - 1} = 139$$

$$\eta_{NTB} = 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{\bar{y}^2}{s^2} \right) = 10 \times \log \left( \frac{149.5^2}{139} \right) = 22.063$$



# 兩階段最佳化程序

SN比	C	E	B	A	D
水準1	28.1634	26.7212	27.8775	29.521	28.838
水準2	31.116	32.5582	31.4019	29.758	30.442
差異	2.9526	5.837	3.5244	0.237	1.604
排序	3	1	2	5	4

最佳參數水準  
A2B2C2D2E2

平均	C	E	B	A	D
水準1	152.625	152.313	155.938	153.5	153.25
水準2	151.063	151.375	147.75	150.188	150.438
差異	1.563	0.938	8.188	3.313	2.813
排序	4	5	1	2	3

目標值150

取差異最大的前三個因子，表示具有影響力的因子。  
因子B對SN比和平均都有影響，所以選SN最大的水準。  
因子A和D只對平均有影響，所以選接近目標值的水準。  
因子C和E對SN比有影響，所以選最大SN比的水準。

# 確認性實驗

- 在獲得最佳的因子水準組合後，想了解其SN比為何？稱作確認性實驗。
- 確認性實驗作法，實際將最佳的因子水準組合再進行實驗，由實驗結果計算SN比，再來，透過SN比預測式，預測最佳的因子水準組合的SN比。
- 若兩個結果相近，表示實驗成功，若兩個結果差異大，表示實驗失敗。
- 通常，為了避免高估最佳條件的SN比，會選用影響效果較高的因子來計算，把影響效果較差的因子合併當成誤差。
- 無交互作用的因子所得到SN比預測值，與實際實驗的結果差異很大，意味著因子間可能存在交互作用。

# 確認性實驗

- 若有交互作用，控制因子的預測能力就會變差，田口將控制因子的交互作用視為一種雜音，如果確認實驗成功，表示此設計能夠克服雜音效果。

- 最佳的因子水準組合的SN比預測式如下

$$SN = A_i + B_j + C_k + \dots + A_i B_j + B_j C_k + \dots + (n-1)\bar{\eta}$$

*n*項加總

- $A_i$ 表示A因子的最佳水準SN比， $B_j$ 表示B因子的最佳水準SN比， $C_k$ 表示C因子的最佳水準SN比…
- $A_i B_j$ 表示A因子和B因子交互作用SN比…
- $n$ 表示所考慮到的因子個數， $\bar{\eta}$ 表示所有SN比的平均

# 確認性實驗-無交互作用

- 以茶葉蛋為例，最佳參數水準A1B2C1並沒有出現在規畫的四個實驗裡，要預測其SN比，如下

$$\bar{\eta} = (\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4) / 4$$

$$= (16.635 + 17.443 + 10.615 + 19.518) / 4 = 16.05275$$

$$SN = A_1 + B_2 + C_1 - (3-1)\bar{\eta}$$

$$= 17.0392 + 18.4808 + 18.0767 - 2 \times 16.0528 = 21.4911$$

- A1B2C1的SN比預測值，比其他的水準組合還大，表示此水準組合能將變異降低。若此水準組合實際的實驗結果，SN比與21.4911差異不大，表示實驗成功。

SN比	A	B	C
水準1	17.0392	13.6248	18.0767
水準2	15.0664	18.4808	14.0289



# 確認性實驗-交互作用

- 以第二個例子說明，最佳的參數水準：C1、B2、E2、A1，其他的因子影響不大，所以只考慮E、A和CB的交互作用，SN比計算如下

SN比	A	E
水準1	32.35	30.35
水準2	30.9	32.925

$$\bar{\eta} = (\eta_1 + \eta_2 + \dots + \eta_8) / 8$$

$$= (31.22 + 32.61 + \dots + 31.51) / 8 = 31.64$$

$$SN = C_1 B_2 + A_1 + E_2 - (3-1)\bar{\eta}$$

$$= 34.28 + 32.35 + 32.925 - 2 \times 31.64 = 36.2725$$

- C1、B2、E2、A1參數水準組合

SN比預測值大於所有實驗的SN比，

此參數水準組合能降低變異。

	B1	B2
C1	31.92	34.28
C2	30.56	29.82



# 單元四：

## 直交表

直交表的選擇

交互作用與點線圖

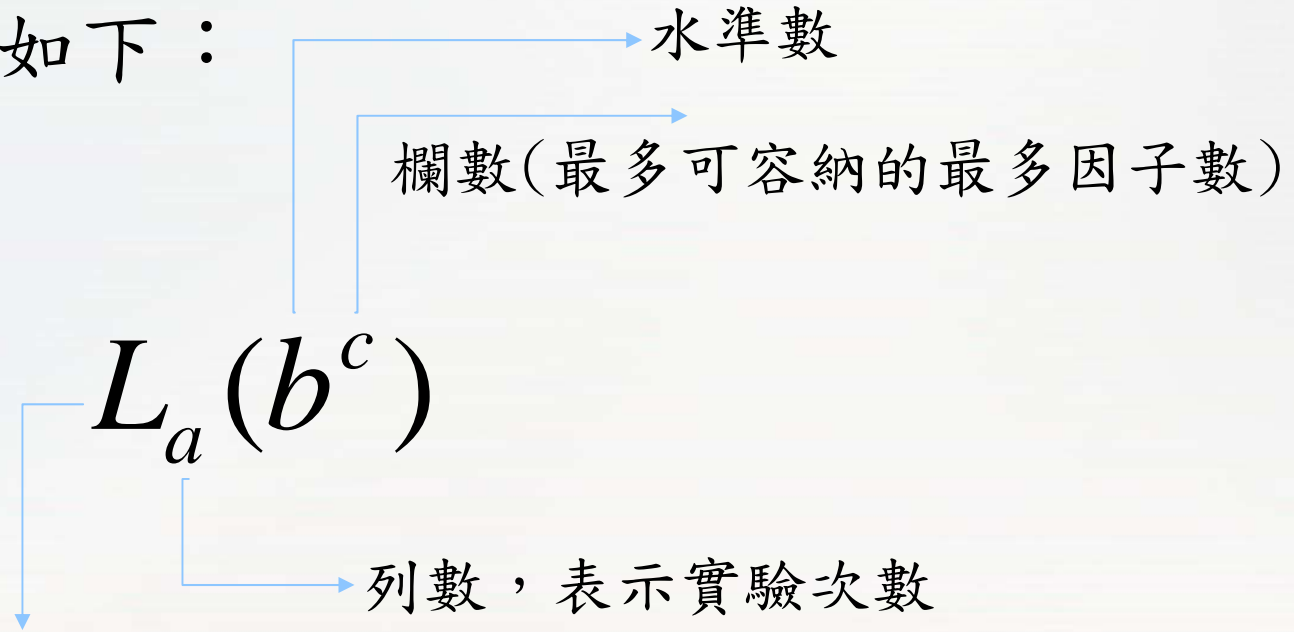
直交表的修正

# 全因子實驗與直交表

- 若在進行實驗設計時，考慮到所有可能的因子水準組合，此稱作全因子實驗。
- 在全因子設計中，當因子數目增加時，實驗次數會隨之增加；而部分因子設計則會增加實驗方法的複雜性。田口方法利用直交表（Orthogonal Array；OA）來收集資料，能讓我們以較少的實驗而獲得更可靠的因子效果估計量。利用直交表進行實驗是穩健設計的一個重要技巧。

# 直交表

- 直交表的種類繁多，茲先將代表直交表的符號定義說明如下：



表示直交表(L為Latin Square 的第一個英文字)

- 田口一共列了18種直交表，一般稱作標準直交表。

# $L_{12}(2^{11})$ 直交表

實驗 編號	欄										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
4	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1

直交表上的每一欄在不考慮因子交互作用情況下，都可以任意配置因子， $L_{12}$ 直交表，最多可以配置11個兩水準無交互作用的因子，總實驗次數為12次。

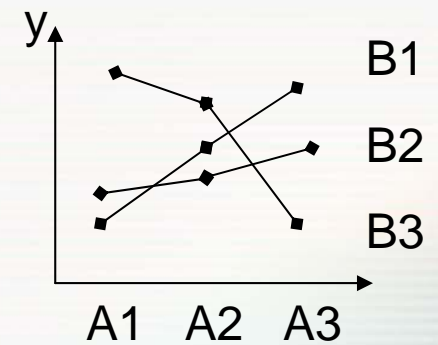
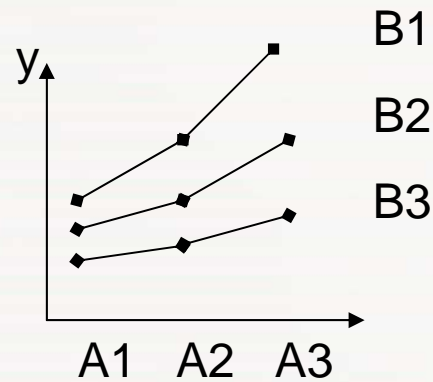
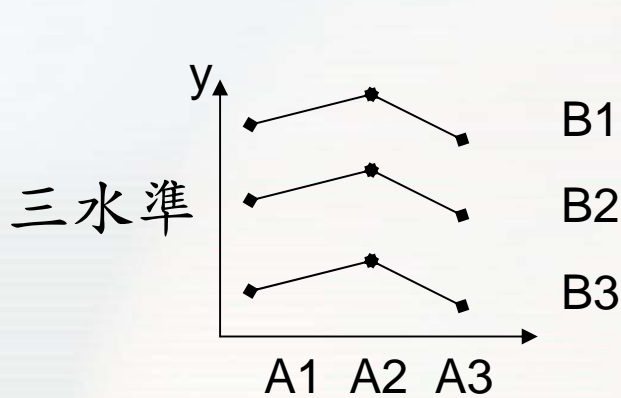
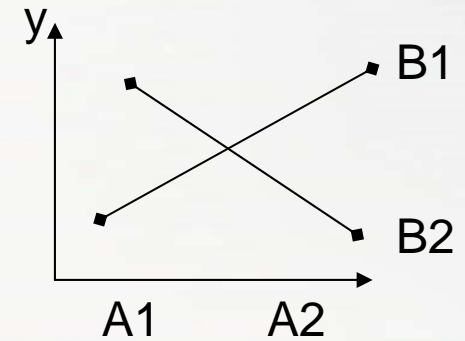
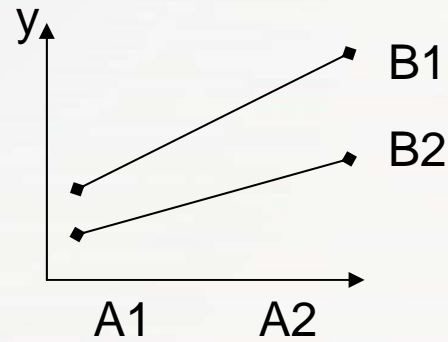
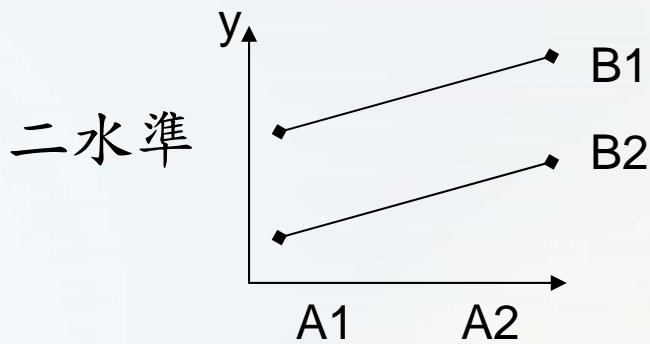
# 直交表的選擇

- 決定因子數(factors)與水準數(levels)。
- 考慮是否有交互作用：田口博士建議並非一定要探討交互作用(Interaction)，若有需要，以二階為主。
- 計算總自由度：主要目的為確認收集的資料，足夠分析所要探討的因子。
- 選擇最適直交表，直交表的自由度為實驗次數減1，所選的直交表自由度必須要大於或等於因子總自由度
- 進行因子的配置以執行實驗。
- 因子的自由度=各因子的水準數-1
- 交互作用的因子自由度=兩個因子的自由度相乘



# 交互作用

- 當某因子各水準的效果隨著另一因子水準改變而變化，此稱作交互作用。



A和B無交互作用

A和B弱交互作用

A和B強交互作用

# 交互作用

- 若因子之間有交互作用，則必須要參考交互作用表進行交互作用因子的配置。
- 右表是L8的交互作用表，第1欄和第2欄的交互作用在第3欄，依此方式查其他欄位的交互作用。
- 例如A因子在第1欄，B因子在第2欄，則AB會在第3欄，同理，C因子在第7欄，要配置BC，由交互作用表可知，第7欄和第2欄交互作用會在第5欄，所以BC配置在第5欄。（配置結果見下頁投影片）

欄	1	2	3	4	5	6	7
1	(1)	3	2	5	4	7	6
2		(2)	1	6	7	4	5
3			(3)	7	6	5	4
4				(4)	1	2	3
5					(5)	3	2
6						(6)	1
7							(7)

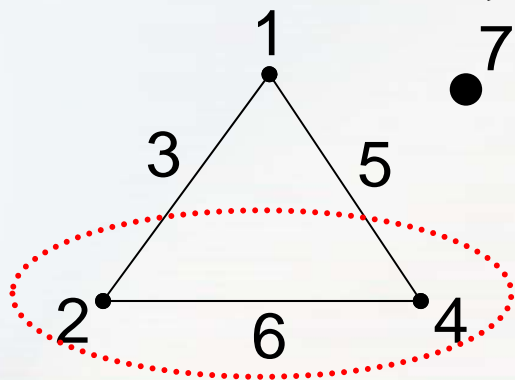
# 交互作用

實驗次數	欄						
	A	B	AB		BC		C
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2

# 點線圖

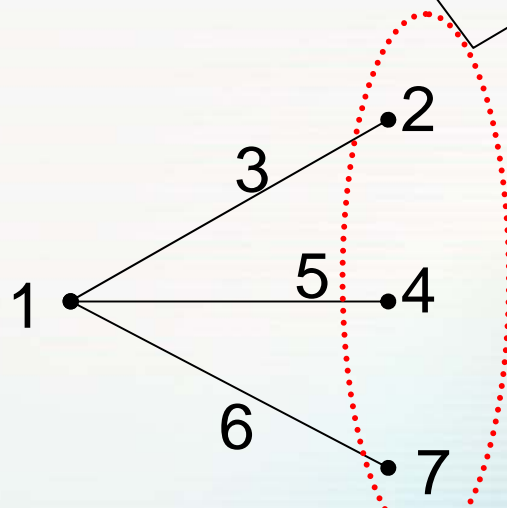
- 點線圖是交互作用表的圖示法，以 $L_8$ 點線圖為例，有兩種表示方法

沒有表示出第7欄的交互作用



表示第2欄和第4欄交互作用在第6欄，或者，第6欄和第4欄交互作用在第2欄

沒有表示出第2、4、7欄彼此間的交互作用



# 單元五：

# Minitab統計軟體演練



# Minitab R14的特點(Focus Taguchi)

- 提供田口提出的十八種基本直交表組合外的直交表—2-5水準及混合多水準之直交表總表與選擇。
- 提供動態及靜態的品質特性分析功能。
- 可計算以下的反應表與效應圖及交叉效應圖
  - S/N比
  - 平均值(靜態)or斜率(動態)
  - 標準差
  - 標準差的自然對數

# Minitab R14的缺點(Focus Taguchi)

- 未提供田口方法之ANOVA分析。
- 未提供計數型品質特性計算。

# Minitab的操作環境

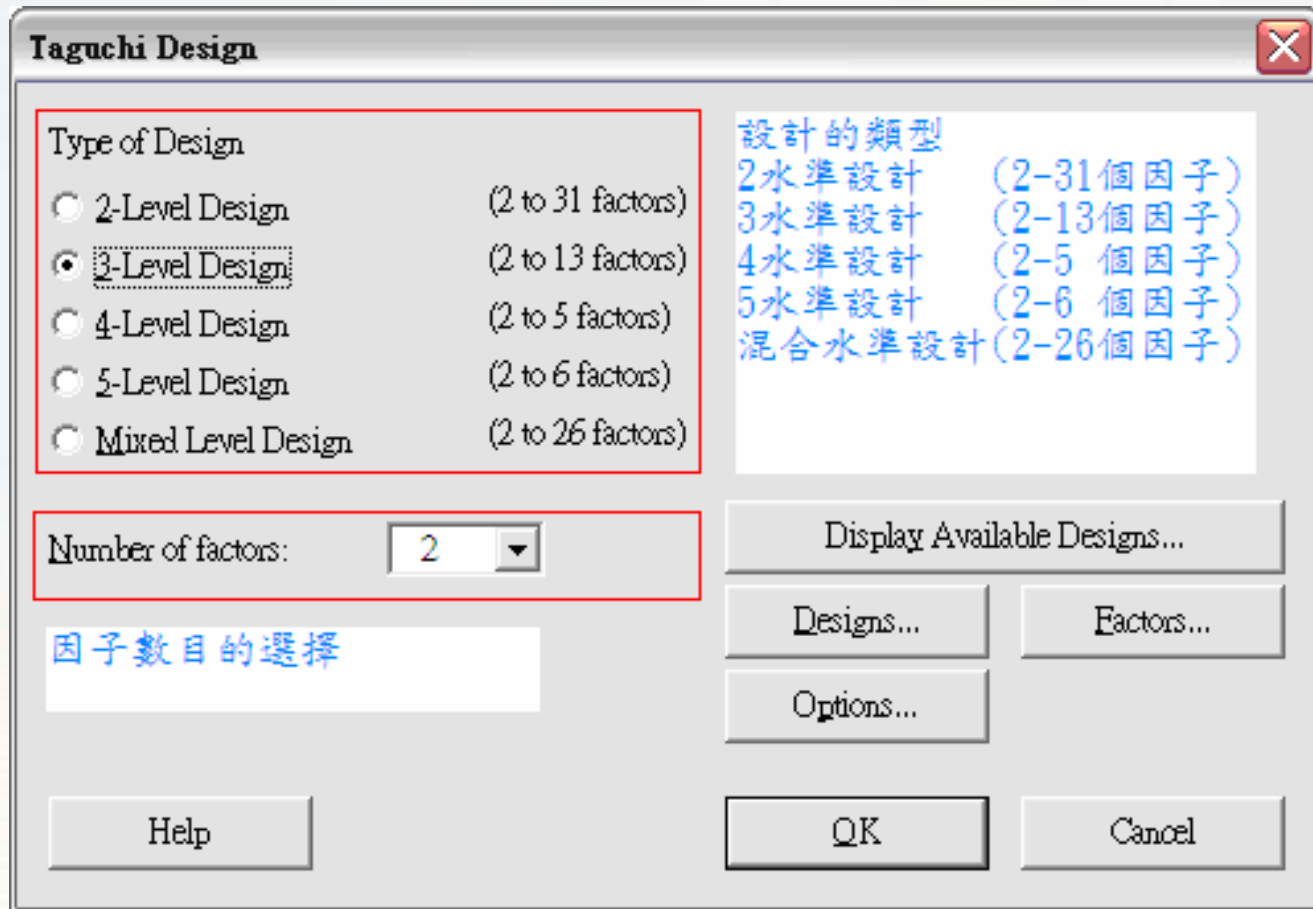
The screenshot displays the Minitab software interface. At the top is the menu bar with options: File, Edit, Data, Calc, Stat, Graph, Editor, Tools, Window, Help. Below the menu bar is a toolbar with various icons for file operations and data analysis. The main window is divided into two panes:

- Session Window (訊息區):** Displays the current date and time (2005/5/28 4:00:38) and a welcome message: "Welcome to Minitab, press F1 for help." The execution time is also shown.
- Worksheet 1 (工作表區):** A grid with columns labeled C1 through C14 and rows numbered 1 through 10. The grid is currently empty, with a blue box highlighting the header row (C1-C4) and a pink box highlighting the header column (1-3).

At the bottom of the window, there is a status bar showing the current worksheet (Worksheet 1) and the time (4:04 AM).

# Create Taguchi Design(1)

Stat→DOE→Taguchi→Create Taguchi Design



# Create Taguchi Design(2)

**Taguchi Design - Available Designs** ✖

Available Taguchi Designs (with Number of Factors)

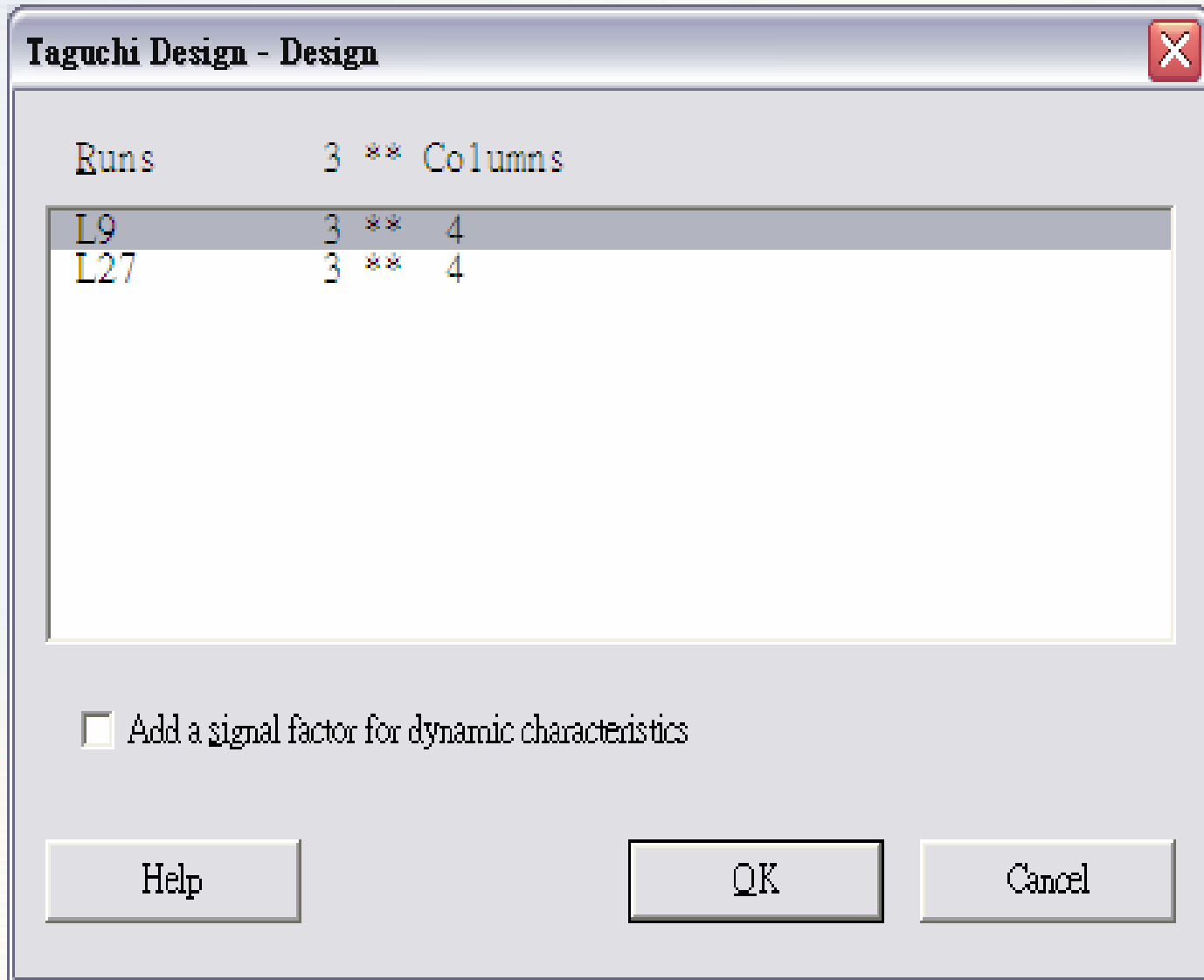
Designs	Single-level designs			
	2 level	3 level	4 level	5 level
L4	2-3			
L8	2-7			
L9		2-4		
L12	2-11			
L16	2-15			
L16			2-5	
L25				2-6
L27		2-13		
L32	2-31			

◀ ▶ \ Single-level / Mixed 2-3 level / Mixed 2-4 level / Mixed 2-8 level / Mixe

Help OK



# Create Taguchi Design(3)



# Create Taguchi Design(4)

Taguchi Design - Factors

Assign Factors

To columns of the array as specified below

To allow estimation of selected

Interactions...

Factor	Name	Level Values	Column	Level
A	A	1 2 3	1	3
B	B	2 2.5 3	2	3
C	C	50 100 200	3	3
D	D	10 30 60	4	3

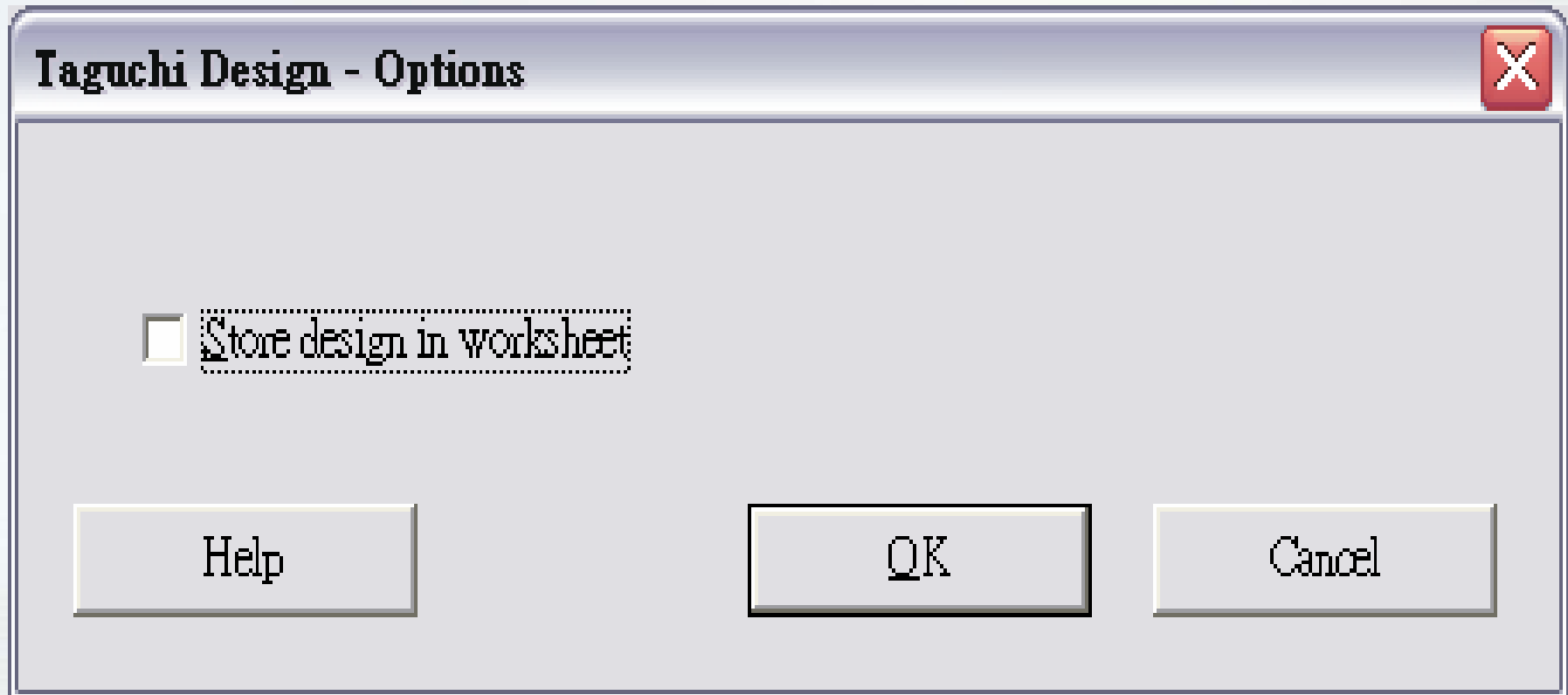
Help      OK      Cancel

直交表因子配置如下


推估交互作用項

可輸入各因子的  
實驗水準，可輸  
入文字水準。

# Create Taguchi Design(5)



# Modify Design

**Modify Design** 

Modification

Modify factors in inner array 修改內直交表因子

Modify signal factor 修改信號因子

Put modified design in a new worksheet 把修改後的設計放到新的工作表上

Help Specify Cancel

# Display Design

## Display Design



How to display the points in the worksheet

Units for factors:

- Coded units
- Uncoded units

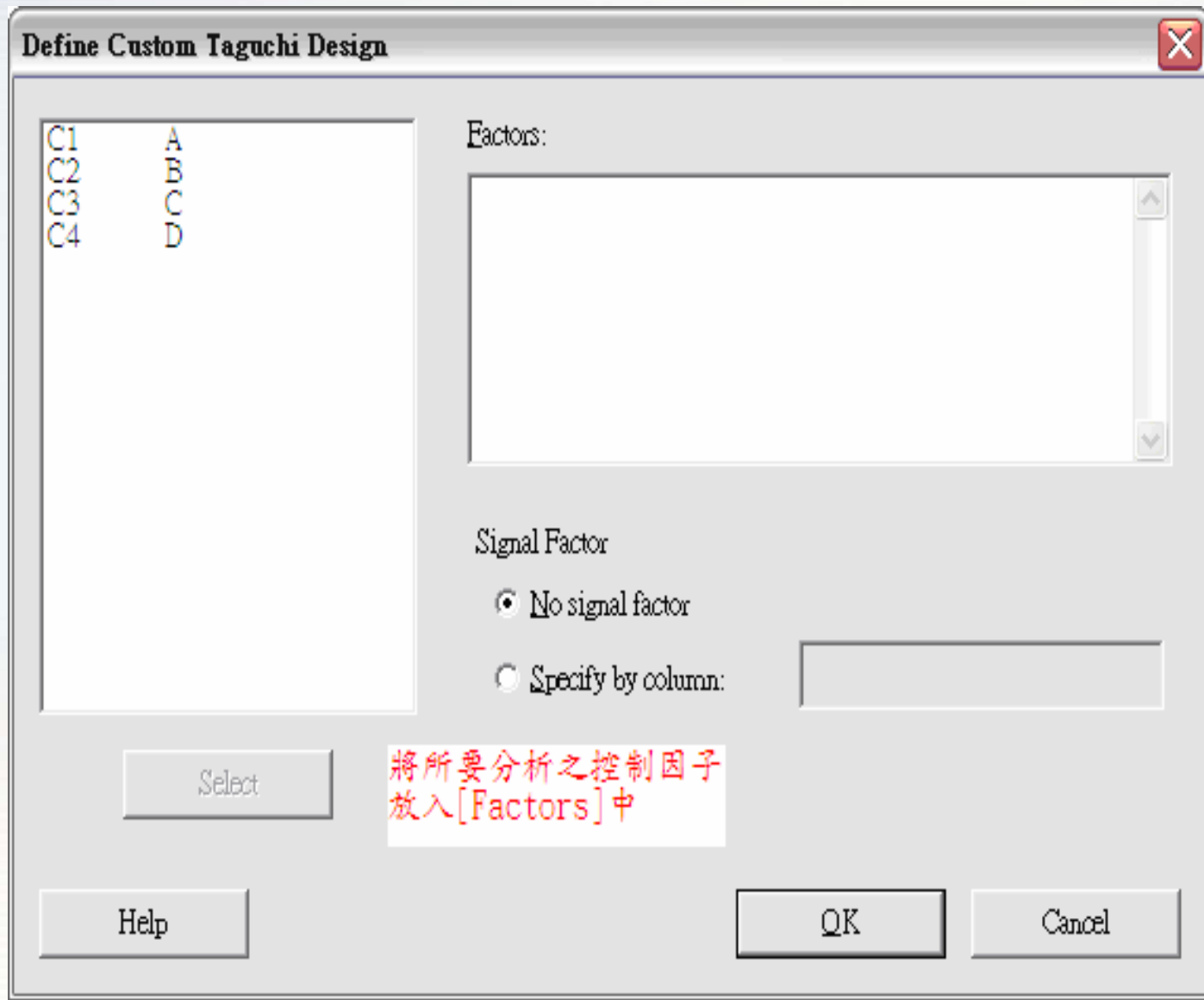
Help

OK

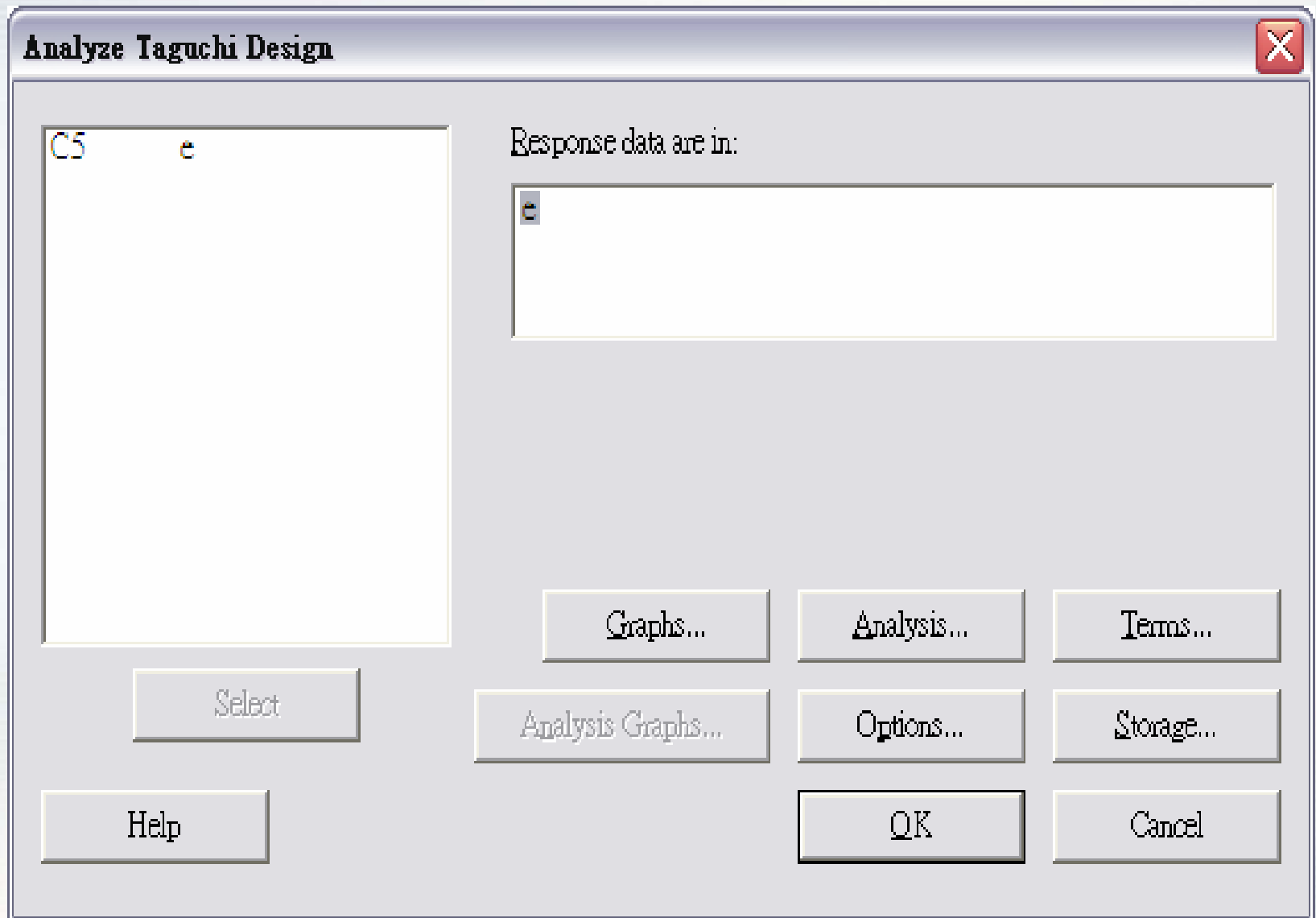
Cancel



# Define Custom Taguchi Design(1)



# Analyze Taguchi Design(1)



# Analyze Taguchi Design(2)

Analyze Taguchi Design - Graphs

C1	Ar:O2
C2	靶材電流(A)
C3	基材偏壓(V)
C4	Ion清潔(M)

Generate plots of main effects and interactions in the model for

- Signal to Noise ratios
- Means
- Standard deviations

Interaction plots

- Display interaction plot matrix  
Use all factors that interact as rows and columns of the matrix or  
Specify factors for rows:   
Specify factors for columns:
- Display each interaction on a separate graph

Buttons: Select, Help, OK, Cancel

對靜態設計，顯示S/N比、平均值或標準差的主效應圖。

顯示選定對S/N比的交互作用圖。單一圖面以矩陣形式畫出交互作用圖，或是每一個交互作用圖畫在個別的繪圖視窗中。

# Analyze Taguchi Design(3)

Analyze Taguchi Design - Graphs

C1	Ar:O2
C2	靶材電流(A)
C3	基材偏壓(V)
C4	Ion清潔(M)

Generate plots of main effects and interactions in the model for

- Signal to Noise ratios
- Slopes
- Standard deviations

Interaction plots

Display interaction plot matrix  
Use all factors that interact as rows and columns of the matrix or

Specify factors for rows:

Specify factors for columns:

Display each interaction on a separate graph

Display scatterplots with fitted lines

Buttons: Select, Help, QK, Cancel

Red text annotations:

- 對動態設計，顯示對S/N比、斜率或標準差的主效應圖。
- 顯示選定對S/N比的交互作用圖。單一圖面以矩陣形式畫出交互作用圖，或是每一個交互作用圖畫在個別的繪圖視窗中。
- 以調適曲線畫出散佈圖

# Analyze Taguchi Design(4)

## Analyze Taguchi Design - Analysis



Display response tables for

Signal to Noise ratios

Slopes

Standard deviations

Fit linear model for

Signal to Noise ratios

Slopes

Standard deviations

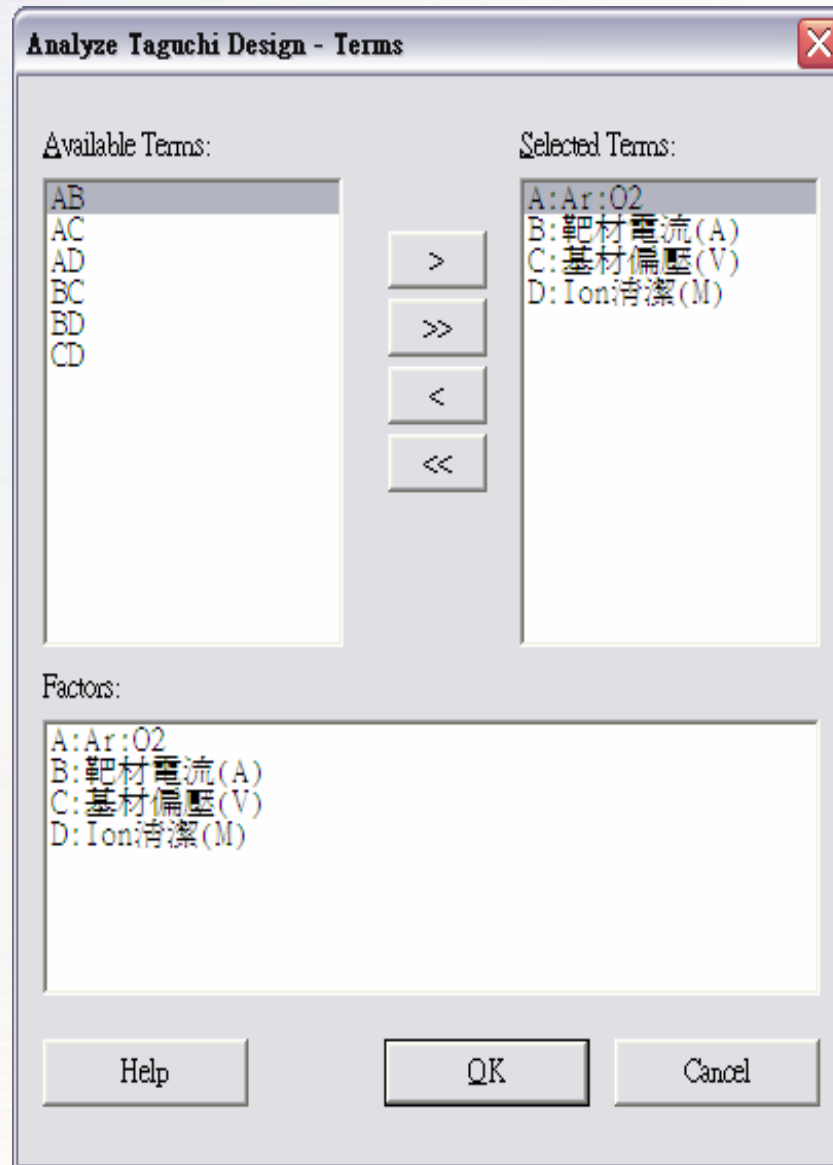
Help

OK


Cancel



# Analyze Taguchi Design(5)



# Analyze Taguchi Design(6)

Analyze Taguchi Design - Options 

Signal to Noise Ratio:	Formula
<input type="radio"/> Larger is better	$-10 \cdot \text{Log}(\text{sum}(1/Y^{**2})/n)$
<input type="radio"/> Nominal is best	$-10 \cdot \text{Log}(s^{**2})$
<input checked="" type="radio"/> <u>Nominal is best</u>	$10 \cdot \text{Log}(\bar{Y}^{**2}/s^{**2})$
<input type="radio"/> Smaller is better	$-10 \cdot \text{Log}(\text{sum}(Y^{**2})/n)$

Use adjusted formula for nominal is best

Use ln(s) for all standard deviation output

選擇目標特性之S/N比

# Analyze Taguchi Design(7)

Analyze Taguchi Design - Options

Dynamic signal-to-noise ratio

Fit all lines through a fixed reference point

Response reference value

Signal reference value

Fit each line through the average response at

Signal reference value

Fit lines with no reference point

Use adjusted formula for signal to noise

Use ln(s) for all standard deviation output


Help OK Cancel

對動態設計，輸入調適曲線的反應參考值與信號參考值，或是選擇不以任何參考值來找調適曲線。

Response reference value 輸入一個相對於期望輸出(反應)值的數值。

Signal reference value 輸入一個相對於反應參考值的信號因子水準值。

# Analyze Taguchi Design(8)


**Analyze Taguchi Design - Storage** 

Store the following items:

- Signal to Noise ratios
- Means
- Standard deviations
- Coefficients of variation
- Natural log of standard deviations

Fits and residuals	Model information	Other diagnostics
<input type="checkbox"/> Fits	<input type="checkbox"/> Coefficients	<input type="checkbox"/> Hi (leverage)
<input type="checkbox"/> Residuals	<input type="checkbox"/> Design matrix	<input type="checkbox"/> Cook's distance
<input type="checkbox"/> Standardized residuals		<input type="checkbox"/> DFITS
<input type="checkbox"/> Deleted residuals		

# Analyze Taguchi Design(9)

**Analyze Taguchi Design - Storage** 

Store the following items:

- Signal to Noise ratios
- Slopes
- Intercepts
- Standard deviations (square root of MSE)
- Natural log of standard deviations

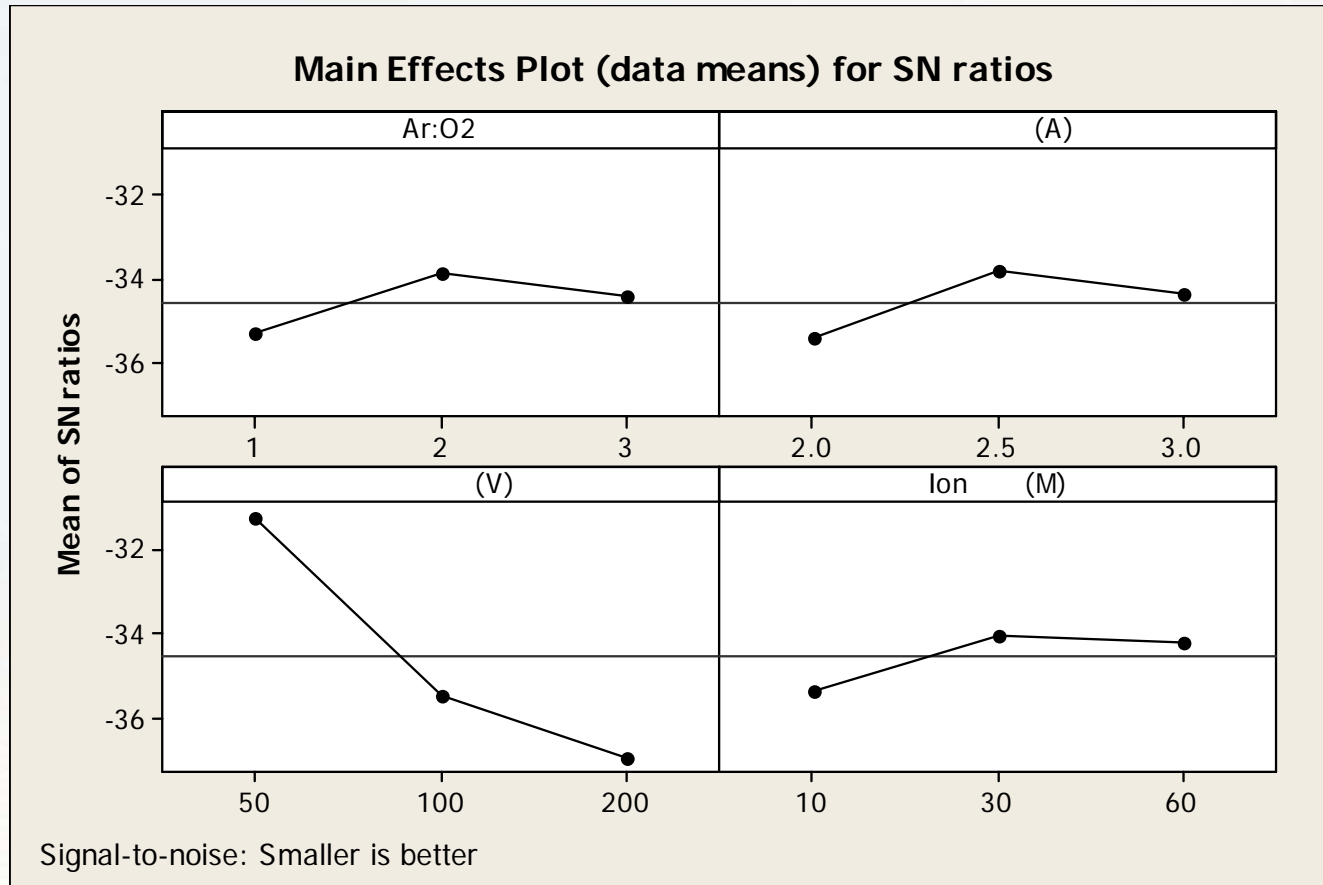
Fits and residuals	Model information	Other diagnostics
<input type="checkbox"/> Fits	<input type="checkbox"/> Coefficients	<input type="checkbox"/> Hi (leverage)
<input type="checkbox"/> Residuals	<input type="checkbox"/> Design matrix	<input type="checkbox"/> Cook's distance
<input type="checkbox"/> Standardized residuals		<input type="checkbox"/> DFITS
<input type="checkbox"/> Deleted residuals		




# Analyze Taguchi Design(10)

Level	Ar:O2	靶材電流(A)	基材偏壓 (V)	Ion清潔 (M)
1	-35.29	-35.42	-31.24	-35.37
2	-33.88	-33.82	-35.46	-34.04
3	-34.44	-34.38	-36.92	-34.20
Delta	1.42	1.60	5.68	1.33
Rank	3	2	1	4

# Analyze Taguchi Design(11)



# Predict Taguchi Results (1)

**Predict Taguchi Results** 


Predict

- Mean
- Signal to Noise ratio
- Standard deviation
- Natural log of standard deviation

- Store predicted values in worksheet

# Predict Taguchi Results (2)

**Predict Taguchi Results** 

Predict

- Slope
- Signal to Noise ratio
- Standard deviation
- Natural log of standard deviation
  
- Store predicted values in worksheet

# Predict Taguchi Results (3)

S/N Ratio	Mean	StDev	Log(StDev)
-----------	------	-------	------------

-33.7067	47.88	8.31746	2.11836
----------	-------	---------	---------

Factor levels for predictions

Ar:O2	靶材電流 (A)	基材偏壓 (V)	Ion清潔 (M)
-------	----------	----------	-----------

1	2	50	10
---	---	----	----



# 計量型信號雜音比公式

型態與公式	目的	資料
<p>Larger is better 一望大</p> $S/N = -10 \log \frac{\sum \frac{1}{Y^2}}{n}$	反應值極大	正
<p>Nominal is best 一望目</p> $S/N = -10 \log(S^2)$	將反應集中於目標上而且 S/N 比只跟標準差有關。	正、零或負
<p>Nominal is best 一望目 (預設選項)</p> $S/N = 10 \log \frac{\frac{1}{\bar{Y}^2}}{S^2}$	將反應集中於目標上，而且 S/N 比跟平均數與標準差都有關。	非小於 0 的值
<p>Smaller is better 一望小</p> $S/N = -10 \log \frac{\sum Y^2}{n}$	反應值極小	非小於 0 的值，而且目標值為 0