

# 反應曲面法-Minitab操作

授課教授：童超塵 老師

實驗室網址 永久：<http://campusweb.yuntech.edu.tw/~qre/index.htm>  
目前：<http://140.125.88.116/QRE>

## 內容大綱

- 由Minitab產生實驗設計表-中心合成設計方法
- 由Minitab產生實驗設計表- **Box- Behnken**法
- 由Minitab產生實驗設計表- **最佳化準則**
- 由Minitab產生實驗設計表-自行輸入方法
- 反應曲面法多項式建構
- 反應曲面法實例說明
- 雙反應曲面參數最佳化

# 由Minitab產生實驗設計表-中心合成設計方法

- 以中心合成設計方法，產生一3因子的實驗設計表，進行四次中心點實驗
- Stat→DOE→Response Surface→ Create Response Surface Design

Center composite design dialog box annotations:

- Center composite design (中心合成設計)
- Box-Behnken
- Number of factors: 3 (各因子水準數)
- Display Available Designs... (顯示所有可進行的實驗組合)
- Designs... (見下一頁)
- Options... (設定隨機產生實驗順序)
- Factors... (各因子命名與設定)

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 由Minitab產生實驗設計表-中心合成設計方法

Designs dialog box annotations:

- Center Points (中心點實)
- Runs (實驗次數)
- Blocks (區集)
- Total (在因子集區上個數)
- Cube (在軸點集區上個數)
- Axial (在軸點集區上個數)
- Default Alpha (可旋性  $\alpha$  值)
- Number of Center Points (中心點重複試驗次數)
- Value of Alpha (修改可旋性  $\alpha$  值)

Designs	Runs	Blocks	Total	Cube	Axial	Default Alpha
Full	20	1	6	0	0	1.682
Full	20	2	6	4	2	1.633
Full	20	3	6	4	2	1.633

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 由Minitab產生實驗設計表-中心合成設計方法

## 因子命名和設定

Create Response Surface Design - Factors

Levels Define

Cube points

Axial points

Factor	Name	Low	High
A	A	-1	1
B	B	-1	1
C	C	-1	1

Help OK Cancel

Display Available Designs...

Designs... Factors... Results...

Options...

OK Cancel

國立雲林科技大學 工業工程與管理系

File Edit Manip Calc Stat Graph Editor Window Help

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
StdOrder	RunOrder	Blocks	A	B	C										
6	1	1	1.00000	-1.00000	1.00000										
16	2	1	0.00000	0.00000	0.00000	*									
18	3	1	0.00000	0.00000	0.00000	*									
4	4	1	1.00000	1.00000	-1.00000										
14	5	1	0.00000	0.00000	1.68179										
11	6	1	0.00000	-1.68179	0.00000										
8	7	1	1.00000	1.00000	1.00000										
17	8	1	0.00000	0.00000	0.00000	*									
12	9	1	0.00000	1.68179	0.00000										
5	10	1	-1.00000	-1.00000	1.00000										
15	11	1	0.00000	0.00000	0.00000	*									
13	12	1	0.00000	0.00000	-1.68179										
2	13	1	1.00000	-1.00000	-1.00000										
10	14	1	1.68179	0.00000	0.00000										
3	15	1	-1.00000	1.00000	-1.00000										
9	16	1	-1.68179	0.00000	0.00000										
7	17	1	-1.00000	1.00000	1.00000										
1	18	1	-1.00000	-1.00000	-1.00000										

\*表示中心點實驗，共四次

區集欄位

標準實驗順序

實際進行實驗順序

Worksheet: Worksheet 3 6:04 PM

# 由Minitab產生實驗設計表- Box- Behnken法

- 以Box- Behnken法，產生一3因子的實驗設計表，進行四次中心點實驗
- Stat→DOE→Response Surface→ Create Response Surface Design

Number of runs: 15

Number of blocks: 1

Number of center points:  Custom: 4

Number of factors: 3

Designs...

設定區集數

設定中心點實驗次數

總實驗次數

# 由Minitab產生實驗設計表- Box- Behnken法

Factor	Name	Low	High
A	A	-1	1
B	B	-1	1
C	C	-1	1

Factors...

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
StdOrder	RunOrder	Blocks	A	B	C										
9	1	1	0	-1	-1										
5	2	1	-1	0	-1										
13	3	1	0	0	0	*									
6	4	1	1	0	-1										
15	5	1	0	0	0	*									
7	6	1	-1	0	1										
8	7	1	1	0	1										
14	8	1	0	0	0	*									
16	9	1	0	0	0	*									
10	10	1	0	1	-1										
12	11	1	0	1	1										
11	12	1	0	-1	1										
2	13	1	1	-1	0										
3	14	1	-1	1	0										
1	15	1	-1	-1	0										
4	16	1	1	1	0										

\*表示中心點實驗，共四次

原本應該進行15次實驗，但因為先前設定中心點實驗次數由3次改變成4次，所以要進行16次實驗

## 由Minitab產生實驗設計表-最佳化準則

- 先由中心合成設計方法或Box- Behnken法產生實驗規劃表，作為候選實驗，之後以最佳化準則從中選出實驗規劃。
- 例題：假設以先前中心合成設計方法例子的實驗規劃表作為候選實驗。然而受限成本問題，只能執行14次實驗，以最佳化準則從中選出14次實驗。

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
StdOrder	RunOrder	Blocks	A	B	C										
5	1	1	-1.00000	-1.00000	1.00000										
13	2	1	0.00000	0.00000	-1.68179										
17	3	1	0.00000	0.00000	0.00000										
3	4	1	-1.00000	1.00000	-1.00000										
2	5	1	1.00000	-1.00000	-1.00000										
18	6	1	0.00000	0.00000	0.00000										
4	7	1	1.00000	1.00000	-1.00000										
15	8	1	0.00000	0.00000	0.00000										
12	9	1	0.00000	1.68179	0.00000										
11	10	1	0.00000	-1.68179	0.00000										
8	11	1	1.00000	1.00000	1.00000										
10	12	1	1.68179	0.00000	0.00000										
6	13	1	1.00000	-1.00000	1.00000										
1	14	1	-1.00000	-1.00000	-1.00000										
16	15	1	0.00000	0.00000	0.00000										
9	16	1	-1.68179	0.00000	0.00000										
7	17	1	-1.00000	1.00000	1.00000										
14	18	1	0.00000	0.00000	1.68179										

## 由Minitab產生實驗設計表-最佳化準則

- Stat → DOE → Response Surface → Select Optimal Design

**Select Optimal Design**

**Criterion**

- D-optimality
- Distance-based optimality

Number of points in optimal design: 14

Specify design columns:

**Task**

- Select optimal design
- Augment/improve design (you may optionally provide an indicator column that you created):
- Evaluate design (you may optionally provide an evaluate column that you created):

Select

Help

Terms... Methods...

Options... Results...

OK Cancel

D最佳化準則挑選實驗

由候選實驗挑選出14次實驗

# 由Minitab產生實驗設計表-最佳化準則

假設是二階具有交互作用模型

指定模型

Number of points in optimal design: 14

Terms...

Methods...

Options...

Results...

OK

Cancel

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

File Edit Manip Calc Stat Graph Editor Window Help

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
StdOrder	RunOrder	Blocks	A	B	C										
10	12	1	1.68179	0.00000	0.00000										
5	1	1	-1.00000	-1.00000	1.00000										
11	10	1	0.00000	-1.68179	0.00000										
9	16	1	-1.68179	0.00000	0.00000										
14	18	1	0.00000	0.00000	1.68179										
3	4	1	-1.00000	1.00000	-1.00000										
2	5	1	1.00000	-1.00000	-1.00000										
17	3	1	0.00000	0.00000	0.00000										
1	14	1	-1.00000	-1.00000	-1.00000										
4	7	1	1.00000	1.00000	-1.00000										
6	13	1	1.00000	-1.00000	1.00000										
8	11	1	1.00000	1.00000	1.00000										
7	17	1	-1.00000	1.00000	1.00000										
13	2	1	0.00000	0.00000	-1.68179										

重候選實驗中選出14次實驗

it Worksheet: Worksheet 6

12:23 AM

上午 1

# 由Minitab產生實驗設計表-最佳化準則

報表輸出各準則的數值

- Condition number: 5.6365E+00
- D-optimality (determinant of XTX): 5.2929E+09
- A-optimality (trace of inv(XTX)): 2.1746E+00
- G-optimality (avg leverage/max leverage): 0.7206
- V-optimality (average leverage): 0.7143
- Maximum leverage: 0.9913

# 由Minitab產生實驗設計表-自行輸入方法

- 有一組實驗數據進行反應曲面多項式的建構，數據如右表。

No.	x1	x2	x3	y
1	-1	-1	0	62.6
2	-1	1	0	175.2
3	1	-1	0	84.1
4	1	1	0	72.7
5	-1	0	-1	75.5
6	-1	0	1	-81.6
7	1	0	-1	-14.7
8	1	0	1	53.3
9	0	-1	-1	391.5
10	0	-1	1	89.5
11	0	1	-1	230.9
12	0	1	1	62.6
13	0	0	0	1.2
14	0	0	0	-269.5
15	0	0	0	97.3
16	0	0	0	79.9

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
x1	x2	x3	y												
-1	-1	0	62.6												
-1	1	0	175.2												
1	-1	0	84.1												
1	1	0	72.7												
-1	0	-1	75.5												
-1	0	1	-81.6												
1	0	-1	-14.7												
1	0	1	53.3												
0	-1	-1	391.5												
0	-1	1	89.5												
0	1	-1	230.9												
0	1	1	62.6												
0	0	0	1.2												
0	0	0	-269.5												
0	0	0	97.3												
0	0	0	79.9												

## 由Minitab產生實驗設計表-自行輸入方法

- Stat → DOE → Response Surface → Define Custom Response Surface Design



# 由Minitab產生實驗設計表-自行輸入方法

Define Custom Response Surface Design - Designs

C4 y

給予標準實驗順序欄位

Standard Order Column

- Order of the data
- Specify by column: [ ]

Run Order Column

- Order of the data
- Specify by column: [ ]

Blocks

- No blocks
- Specify by column: [ ]

給予實際執行實驗順序欄位

給予區集的欄位

當實驗數據裡沒有這些欄位時，使用預設值即可

Select

Help OK Cancel Designs...

Help OK Cancel

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 由Minitab產生實驗設計表-自行輸入方法

Define Custom Response Surface Design - Low/High

Low and High Values for Factors

Factor	Name	Low	High
A	x1	-1	1
B	x2	-1	1
C	x3	-1	1

各因子命名與設定

Worksheet Data Are

- Coded
- Uncoded

Help OK Cancel

Low/High... Designs...

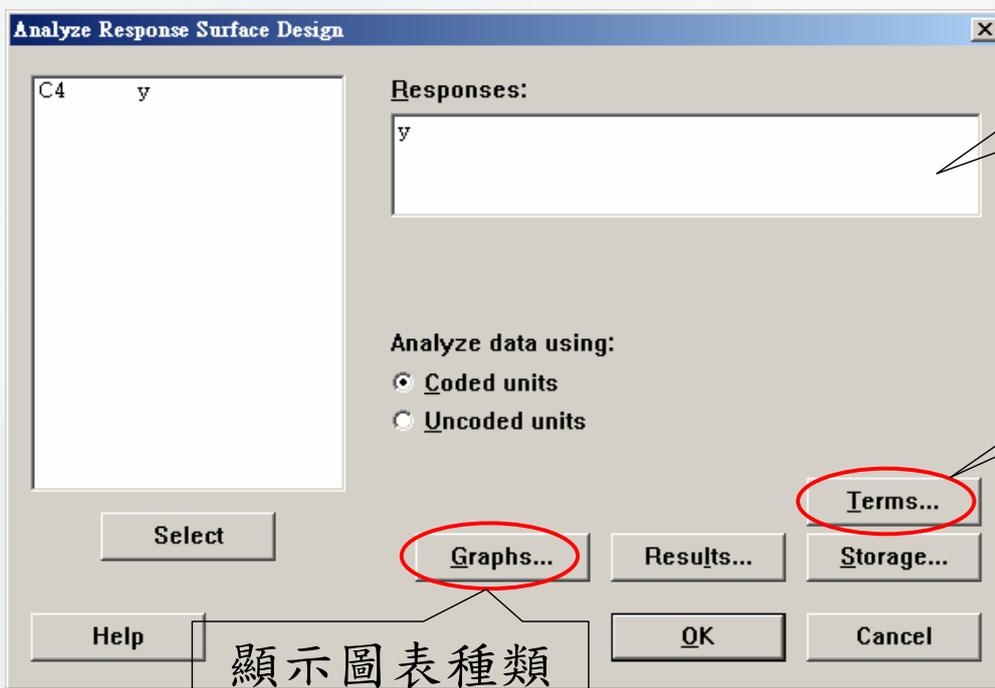
OK Cancel

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
x1	x2	x3	y	StdOrder	RunOrder	Blocks									
-1	-1	0	62.6	1	1	1									
-1	1	0	175.2	2	2	1									
1	-1	0	84.1	3	3	1									
1	1	0	72.7	4	4	1									
-1	0	-1	75.5	5	5	1									
-1	0	1	-81.6	6	6	1									
1	0	-1	-14.7	7	7	1									
1	0	1	53.3	8	8	1									
0	-1	-1	391.5	9	9	1									
0	-1	1	89.5	10	10	1									
0	1	-1	230.9	11	11	1									
0	1	1	62.6	12	12	1									
0	0	0	1.2	13	13	1									
0	0	0	-269.5	14	14	1									
0	0	0	97.3	15	15	1									
0	0	0	79.9	16	16	1									

## 反應曲面法多項式建構

- Stat → DOE → Response Surface → Analyze Response Surface Design



給定反應  
值欄位

模型選擇

顯示圖表種類

# 反應曲面法多項式建構

Analyze Response Surface Design - Terms

Include the following terms: Full quadratic

Available Terms:

- Linear
- Linear + squares
- Linear + interactions
- Full quadratic
- B:x2
- C:x3
- AA
- BB
- CC
- AB
- AC
- BC

Include blocks in the model

Terms...

Results... Storage... OK Cancel

Help OK Cancel

剔除因子欄位

選擇多項式模型

選入因子欄位

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 反應曲面法多項式建構

Analyze Response Surface Design - Graphs

C1 x1  
C2 x2  
C3 x3  
C4 y  
C5 StdOrder  
C6 RunOrder  
C7 Blocks

Residuals for Plots:  
 Regular  Standardized  Deleted

Residual Plots  
 Histogram  
 Normal plot  
 Residuals versus fits  
 Residuals versus order  
 Residuals versus variables:

Select

Help OK Cancel

Select Graphs... Results... Storage... OK Cancel

Help OK Cancel

殘差圖的設定

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 反應曲面法實例說明

- 參考課本例題6.1
- 問題：以中心合成設計方法規劃一實驗，具有三個因子，中心點重複四次實驗，沒有區集，將例題6.1的y1數據填入實驗規劃表中，並進行反應曲面數學式建構。

# 反應曲面法實例說明

- 開啟Create Response Surface Design畫面

Center composite design method

Select 1 experimental region

Designs	Runs	Blocks	Center Points			Default Alpha
			Total	Cube	Axial	
Full	20	1	6	0	0	1.682
Full	20	2	6	4	2	1.633
Full	20	3	6	4	2	1.633

Select 3 factors

Center point repeated 4 times experiment

# 反應曲面法實例說明

**Create Response Surface Design - Factors**

Levels Define  
 **Cube points** (設定角點的水準)  
 Axial points

Factor	Name	Low	High
A	x1	-1	1
B	x2	-1	1
C	x3	-1	1

修改變數名稱

**Create Response Surface Design - Options**

**Randomize runs** (配合課本例題實驗規畫順序，取消隨機順序)  
 Base for random data generator  
 **Store design in worksheet**

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	
StdOrder	RunOrder	Blocks	x1	x2	x3											
1	1	1	-1.00000	-1.00000	-1.00000	} 角點實驗										
2	2	1	1.00000	-1.00000	-1.00000											
3	3	1	-1.00000	1.00000	-1.00000											
4	4	1	1.00000	1.00000	-1.00000											
5	5	1	-1.00000	-1.00000	1.00000											
6	6	1	1.00000	-1.00000	1.00000											
7	7	1	-1.00000	1.00000	1.00000	} 軸點實驗										
8	8	1	1.00000	1.00000	1.00000											
9	9	1	-1.68179	0.00000	0.00000											
10	10	1	1.68179	0.00000	0.00000											
11	11	1	0.00000	-1.68179	0.00000											
12	12	1	0.00000	1.68179	0.00000											
13	13	1	0.00000	0.00000	-1.68179	} 中心點實驗										
14	14	1	0.00000	0.00000	1.68179											
15	15	1	0.00000	0.00000	0.00000											
16	16	1	0.00000	0.00000	0.00000											
17	17	1	0.00000	0.00000	0.00000											
18	18	1	0.00000	0.00000	0.00000											

注意：實驗順序與課本例題6.1的實驗順序不完全相同，填入反應值時注意各因子水準組合。

File Edit Manip Calc Stat Graph Editor Window Help

StdOrder RunOrder Blocks x1 x2 x3 y1

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16
StdOrder	RunOrder	Blocks	x1	x2	x3	y1									
1	1	1	-1.00000	-1.00000	-1.00000	49.75									
2	2	1	1.00000	-1.00000	-1.00000	58.06									
3	3	1	-1.00000	1.00000	-1.00000	47.04									
4	4	1	1.00000	1.00000	-1.00000	-268.53									
5	5	1	-1.00000	-1.00000	1.00000	85.76									
6	6	1	1.00000	-1.00000	1.00000	390.50									
7	7	1	-1.00000	1.00000	1.00000	78.98									
8	8	1	1.00000	1.00000	1.00000	66.86									
9	9	1	-1.68179	0.00000	0.00000	71.48									
10	10	1	1.68179	0.00000	0.00000	72.30									
11	11	1	0.00000	-1.68179	0.00000	172.40									
12	12	1	0.00000	1.68179	0.00000	-97.95									
13	13	1	0.00000	0.00000	-1.68179	-76.33									
14	14	1	0.00000	0.00000	1.68179	246.34									
15	15	1	0.00000	0.00000	0.00000	93.23									
16	16	1	0.00000	0.00000	0.00000	79.62									
17	17	1	0.00000	0.00000	0.00000	87.34									
18	18	1	0.00000	0.00000	0.00000	94.29									

填入例題6.1的y1反應值

Worksheet: Worksheet 2 10:58 PM

# 反應曲面法實例說明

- 例題6.1的y1實驗數據

x1	x2	x3	y1
-1	-1	-1	49.75
1	-1	-1	58.06
-1	1	-1	47.04
1	1	-1	-268.53
-1	-1	1	85.76
1	-1	1	390.5
-1	1	1	78.98
1	1	1	66.86
-1.68179	0	0	71.48
1.68179	0	0	72.3
0	-1.68179	0	172.4
0	1.68179	0	-97.95
0	0	-1.68179	-76.33
0	0	1.68179	246.34
0	0	0	93.23
0	0	0	79.62
0	0	0	87.34
0	0	0	94.29

# 反應曲面法實例說明

- 開啟 Analyze Response Surface Design 畫面

選擇反應值y1

選擇二階模型

Analyze Response Surface Design - Terms

Include the following terms: Full quadratic

Available Terms:

Selected Terms:

- A: x1
- B: x2
- C: x3
- AA
- BB
- CC
- AB
- AC
- BC

Analyze data using:

- Coded units
- Uncoded units

Include blocks in the model

Help OK Cancel

Terms... Storage... Results... Graphs... Select Help OK Cancel

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 反應曲面法實例說明

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	88.61	2.637	33.606	0.000
x1	-0.97	1.429	-0.679	0.516
x2	-81.60	1.429	-57.102	0.000
x3	93.61	1.429	65.508	0.000
x1*x1	-5.85	1.485	-3.940	0.004
x2*x2	-18.11	1.485	-12.194	0.000
x3*x3	-1.21	1.485	-0.818	0.437
x1*x2	-80.09	1.867	-42.897	0.000
x1*x3	74.99	1.867	40.161	0.000
x2*x3	-0.14	1.867	-0.075	0.942

各因子的係數顯著性

S = 5.281

R-Sq = 99.9%

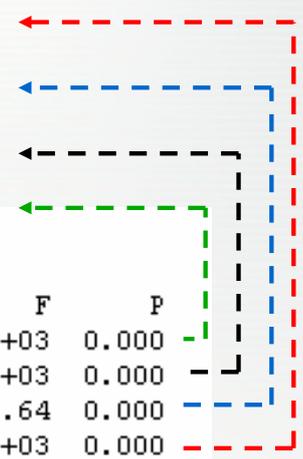
R-Sq(adj) = 99.8%

各因子的係數值

模型解釋能力

# 反應曲面法實例說明

交互作用項的顯著值  
 二次方項的顯著值  
 線性項的顯著值  
 整個模型的顯著值



Analysis of Variance for y1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	9	311246	311246	34582.8	1E+03	0.000
Linear	3	210624	210624	70208.1	3E+03	0.000
Square	3	4321	4321	1440.2	51.64	0.000
Interaction	3	96301	96301	32100.2	1E+03	0.000
Residual Error	8	223	223	27.9		
Lack-of-Fit	5	87	87	17.4	0.38	0.836
Pure Error	3	136	136	45.3		
Total	17	311469				

其結果均為顯著，表示反應曲面多項式包含了線性、交互作用、二次方項。若有其中一項不顯著，則必須要回到Analyze Response Surface Design畫面中的Term，剔除不顯著項，重新建立模型

# 反應曲面法實例說明

- 其模型為  $y_1 = 88.6 - 0.97x_1 - 81.6x_2 + 93.6x_3 - 80.1x_1x_2 + 75x_1x_3 - 0.41x_2x_3 - 5.85x_1^2 - 18.1x_2^2 - 1.22x_3^2$
- 假設，二次方項不顯著，則回到Term畫面選擇線性+交互作用的模型

剔除二次方項

線性+交互作用模型



# 反應曲面法實例說明

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	69.51	4.790	14.510	0.000
x1	-0.97	5.500	-0.177	0.863
x2	-81.60	5.500	-14.837	0.000
x3	93.61	5.500	17.022	0.000
x1*x2	-80.09	7.186	-11.146	0.000
x1*x3	74.99	7.186	10.435	0.000
x2*x3	-0.14	7.186	-0.019	0.985

S = 20.32      R-Sq = 98.5%      R-Sq(adj) = 97.7%

二次方項  
被剔除

## Analysis of Variance for y1

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	306925	306925	51154.2	123.84	0.000
Linear	3	210624	210624	70208.1	169.97	0.000
Interaction	3	96301	96301	32100.2	77.71	0.000
Residual Error	11	4544	4544	413.1		
Lack-of-Fit	8	4408	4408	551.0	12.15	0.032
Pure Error	3	136	136	45.3		
Total	17	311469				

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 反應曲面法實例說明

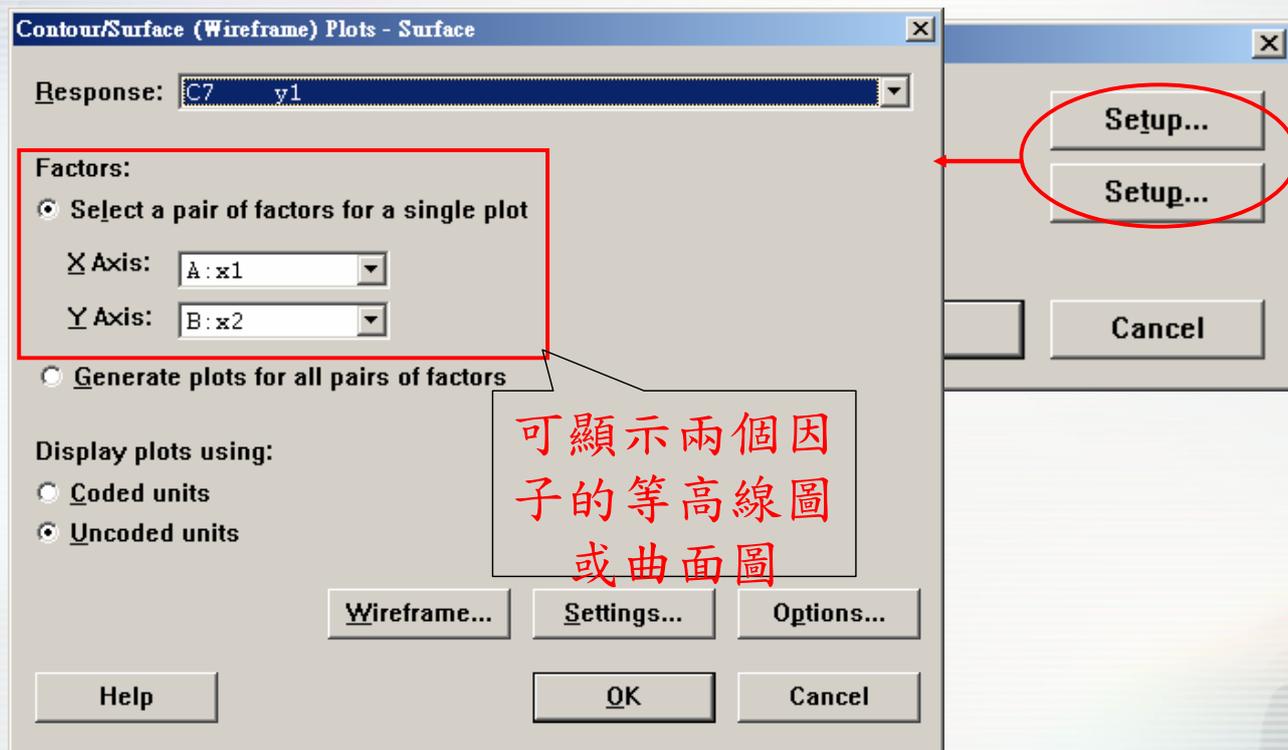
- 產生等高線圖和曲面圖。
- 以先前建立的二階模型產生圖形。
- Stat → DOE → Response Surface → Contour Surface (Wireframe) Plots



曲面圖

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

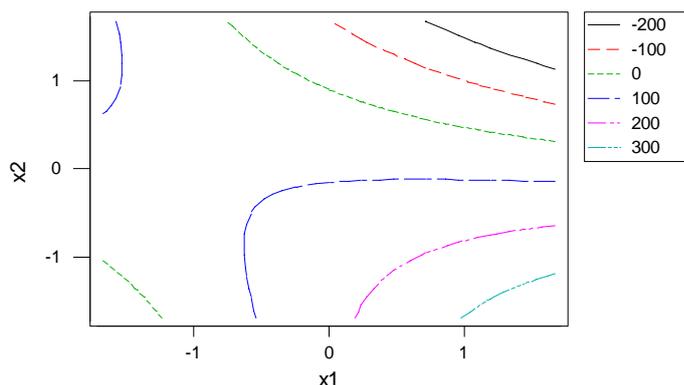
# 反應曲面法實例說明



國立雲林科技大學 工業工程與管理所

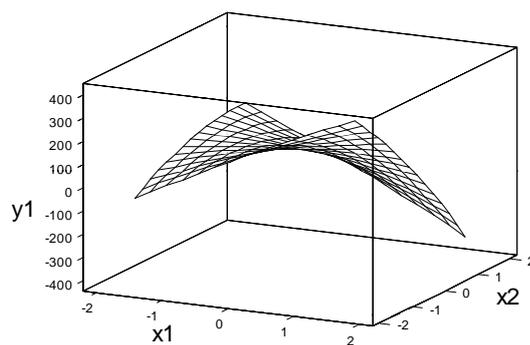
# 反應曲面法實例說明

Contour Plot of y1



Hold values: x3: 0.0

Surface Plot of y1



# 反應曲面法實例說明

- 以先前所建立的二階模型探討參數最佳化
- Stat → DOE → Response Surface → Response Optimizer



國立雲林科技大學 工業工程與管理系

# 反應曲面法實例說明

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C4 y1	Maximize	0	100		1	1

指定反應值為望大特性

給定反應值可接受範圍，假設目標值為100，最小值是0

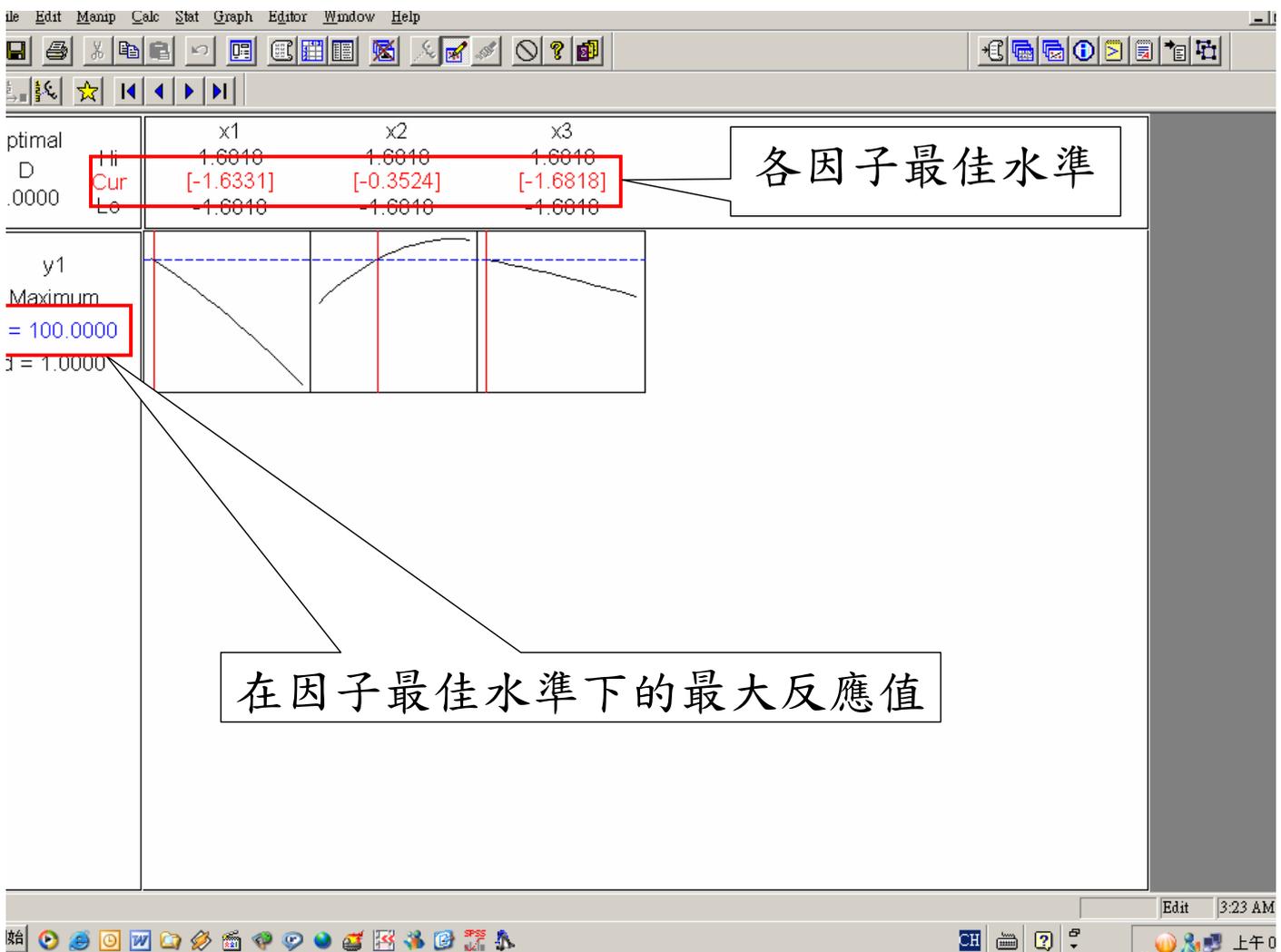
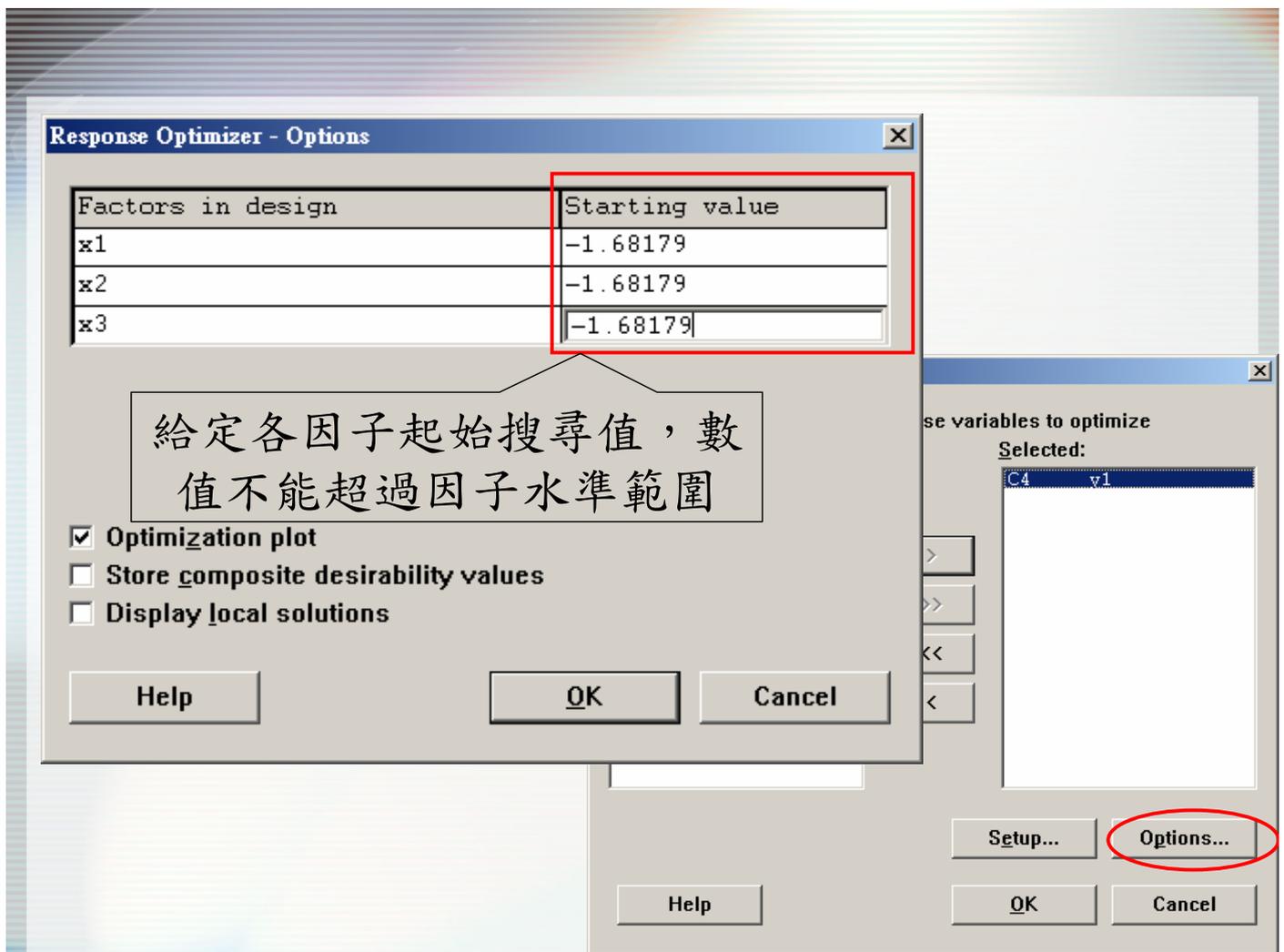
Desirability functions for different goals - how Weights affect their shapes

Minimize the Response

Hit a target value

Maximize the Response

Setup...



# 雙反應曲面法最佳化

- 假設某一實驗，有三個因子，每個實驗有四個反應值，如下表，若標準差不能大於10，期望平均值能達到200，求反應值平均數最大値之因子水準。

No.	x1	x2	x3	y1	y2	y3	y4
1	-1	-1	-1	67.22	67.92	77.62	78.32
2	1	-1	-1	37.13	37.65	63.21	63.73
3	-1	1	-1	-65.76	-47.98	-61.31	-43.52
4	1	1	-1	-242.52	-224.92	-222.39	-204.79
5	-1	-1	1	189.84	199.83	199.57	209.57
6	1	-1	1	293.25	303.07	318.67	328.48
7	-1	1	1	59.43	86.51	63.22	90.3
8	1	1	1	16.18	43.07	35.64	62.53

國立雲林科技大學 工業工程與管理系

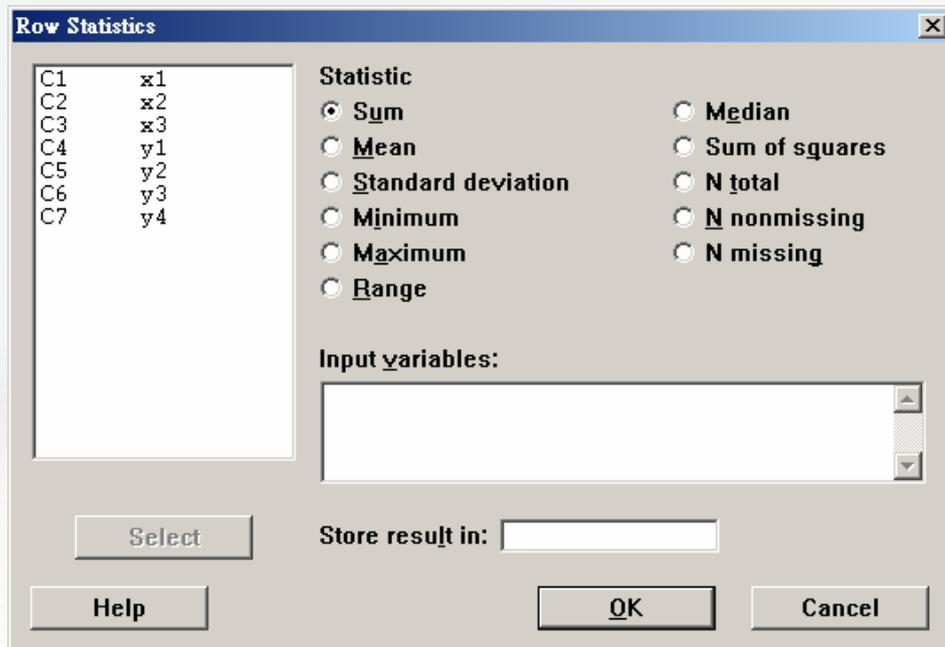
The screenshot shows the Minitab software interface. The worksheet contains the following data:

C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
x2	x3	y1	y2	y3	y4	Mean	STD								
-1	-1	67.22	67.92	77.62	78.32										
-1	-1	37.13	37.65	63.21	63.73										
1	-1	-65.76	-47.98	-61.31	-43.52										
1	-1	-242.52	-224.92	-222.39	-204.79										
-1	1	189.84	199.83	199.57	209.57										
-1	1	293.25	303.07	318.67	328.48										
1	1	59.43	86.51	63.22	90.30										
1	1	16.18	43.07	35.64	62.53										

The columns C8 (Mean) and C9 (STD) are highlighted with a red box. The text "先指定平均值與標準差欄位" (First specify the mean and standard deviation columns) is overlaid on the right side of the worksheet.

# 雙反應曲面法最佳化

- Step1. 計算反應值平均數與標準差並將計算結果分別存到C8和C9欄位。
- Calc → Row Statistics



國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 雙反應曲面法最佳化



國立雲林科技大學 工業工程與管理所

File Edit Manip Calc Stat Graph Editor Window Help

C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
x2	x3	y1	y2	y3	y4	Mean	STD								
-1	-1	67.22	67.92	77.62	78.32	72.770									
-1	-1	37.13	37.65	63.21	63.73	50.430									
1	-1	-65.76	-47.98	-61.31	-43.52	-54.643									
1	-1	-242.52	-224.92	-222.39	-204.79	-223.655									
-1	1	189.84	199.83	199.57	209.57	199.702									
-1	1	293.25	303.07	318.67	328.48	310.868									
1	1	59.43	86.51	63.22	90.30	74.865									
1	1	16.18	43.07	35.64	62.53	39.355									

計算出平均值並存到Mean欄

□

Worksheet: Worksheet 1 2:22 AM

## 雙反應曲面法最佳化

- 依同樣方法計算標準差，呼叫先前視窗。

Row Statistics

C1	x1	Statistic	<input type="radio"/> Sum	<input type="radio"/> Median
C2	x2	<input type="radio"/> Mean	<input type="radio"/> Sum of squares	<input type="radio"/> N total
C3	x3	<input checked="" type="radio"/> Standard deviation	<input type="radio"/> N nonmissing	<input type="radio"/> N missing
C4	y1	<input type="radio"/> Minimum		
C5	y2	<input type="radio"/> Maximum		
C6	y3	<input type="radio"/> Range		
C7	y4			
C8	Mean			
C9	STD			

Input variables: y1-y4

Store result in: STD

Select Help OK Cancel

計算標準差

指定所有反應值欄位

將計算結果存到STD欄

File Edit Manip Calc Stat Graph Editor Window Help

C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17
x2	x3	y1	y2	y3	y4	Mean	STD								
-1	-1	67.22	67.92	77.62	78.32	72.770	6.0180								
-1	-1	37.13	37.65	63.21	63.73	50.430	15.0603								
1	-1	-65.76	-47.98	-61.31	-43.52	-54.643	10.5854								
1	-1	-242.52	-224.92	-222.39	-204.79	-223.655	15.4378								
-1	1	189.84	199.83	199.57	209.57	199.702	8.0554								
-1	1	293.25	303.07	318.67	328.48	310.868	15.7296								
1	1	59.43	86.51	63.22	90.30	74.865	15.7870								
1	1	16.18	43.07	35.64	62.53	39.355	19.1639								

計算出標準差並存到STD欄

Worksheet: Worksheet 1 2:25 AM

## 雙反應曲面法最佳化

- Step2. 定義因子
- Stat → DOE → Response Surface → Define Custom Response Surface Design

Define Custom Response Surface Design

Factors:  
x1-x3

指定因子欄位

Low and High Values for Factors

Factor	Name	Low	High
A	x1	-1	1
B	x2	-1	1
C	x3	-1	1

Standard Order Column  
 Order of the data  
 Specify by column:

Run Order Column  
 Order of the data  
 Specify by column:

Blocks  
 No blocks  
 Specify by column:

Buttons: Select, Help, OK, Cancel

# 雙反應曲面法最佳化

- Step3. 建立平均值反應曲面模型
- Stat → DOE → Response Surface → Analyze Response Surface Design
- 先建立平均數的模型

Analyze Response Surface Design - Terms

Analyze Response Surface Design

Responses: Mean

Analyze data using:  
 Coded units  
 Uncoded units

Terms... (circled in red)

Selected Terms:  
A : x1  
B : x2  
C : x3  
AA  
BB  
CC  
AB  
AC  
BC

Full quadratic

指定反應值平均數欄位

選所有模型

# 雙反應曲面法最佳化

- $S = 1.287$      $R\text{-Sq} = 100.0\%$      $R\text{-Sq}(\text{adj}) = 100.0\%$
- Analysis of Variance for Mean

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	176940	176940	35387.9	2E+04	0.000
Linear	3	157271	157271	52423.8	3E+04	0.000
Interaction	2	19668	19668	9834.1	6E+03	0.000
Residual Error	2	3	3	1.7		
Total	7	176943				

所有模型均顯著，為二階具有一階交互作用多項式

# 雙反應曲面法最佳化

- 建立標準差的模型
- 呼叫先前視窗

Analyze Response Surface Design

Responses:  
STD

Analyze data using:  
 Coded units  
 Uncoded units

Select

Graphs... Results... Storage...

Help

OK Cancel

Design - Terms

Terms: Full quadratic

Selected Terms:  
A : x1  
B : x2  
C : x3  
AA  
BB  
CC  
AB  
AC  
BC

> >> < <<

Terms...

OK Cancel

選所有模型

指定反應值標準差欄位

# 雙反應曲面法最佳化

- Analysis of Variance for STD

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	137.165	137.165	27.4330	11.34	0.083
Linear	3	127.150	127.150	42.3834	17.52	0.054
Interaction	2	10.015	10.015	5.0074	2.07	0.326
Residual Error	2	4.839	4.839	2.4195		
Total	7	142.004				

不適合用二階模型，所以刪除，而交互作用項不顯著，而線性項接近顯著，所以先手動刪除交互作用項。

# 雙反應曲面法最佳化

- 呼叫先前視窗

Analyze Response Surface Design - Terms

Include the following terms: Linear

Available Terms:

Selected Terms:

A: x1  
B: x2  
C: x3

Responses:

STD

Analyze data using:

Coded units  
 Uncoded units

Terms...

OK Cancel

改用線性模型

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 雙反應曲面法最佳化

- Analysis of Variance for STD

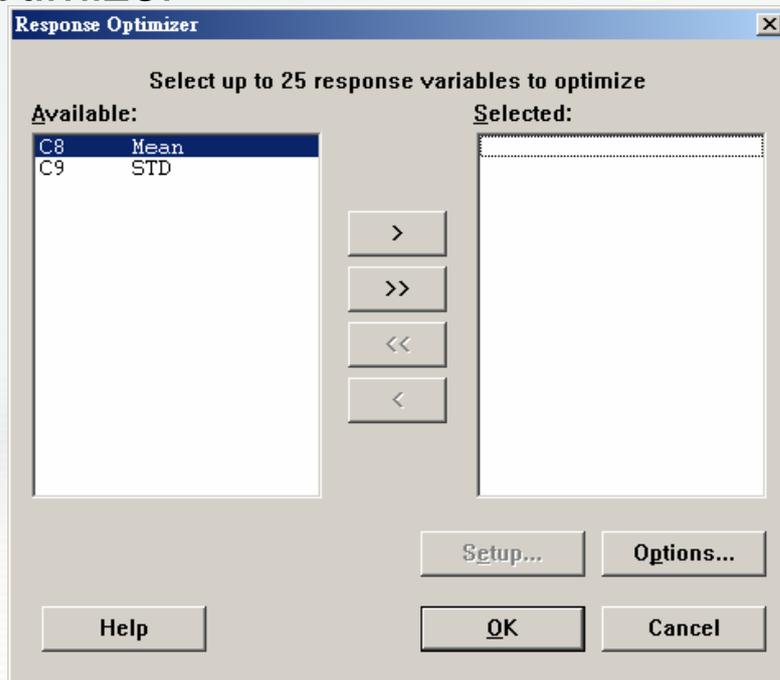
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	3	127.150	127.150	42.3834	11.41	0.020
Linear	3	127.150	127.150	42.3834	11.41	0.020
Residual Error	4	14.854	14.854	3.7135		
Total	7	142.004				

模型顯著，表示標準差適合用一階線性模型

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 雙反應曲面法最佳化

- Step4.找出最佳參數
- Stat→DOE→Response Surface→ Response Optimizer



國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 雙反應曲面法最佳化



國立雲林科技大學 工業工程與管理所

# 雙反應曲面法最佳化

Response Optimizer - Setup

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C8 Mean	Target				1	1
C9 STD	Target				1	1

告知反應值範圍，極大值要給定下限和目標值，極小值要給定上限和目標值，若是望目特性，必須給予三個數值

Desirability functions for different goals - how Weights affect their shapes

Minimize the Response

Hit a target value

Maximize the Response

告知目標為極大值、極小值或望目特性

Setup... Options... OK Cancel

# 雙反應曲面法最佳化

Response Optimizer - Setup

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C8 Mean	Maximize	0	200		1	1
C9 STD	Minimize		0	10	1	1

由題目可知道平均值為望大特性，希望能達到 200，標準差為望小特性，且不能超過 10

Desirability functions for different goals - how Weights affect their shapes

Minimize the Response

Hit a target value

Maximize the Response

Help OK Cancel

# 雙反應曲面法最佳化

Response Optimizer - Options

Factors in design	Starting value
x1	-1
x2	-1
x3	-1

給定因子起始搜尋值，其數值要在因子水準範圍內

- Optimization plot
- Store composite desirability values
- Display local solutions

Help

OK

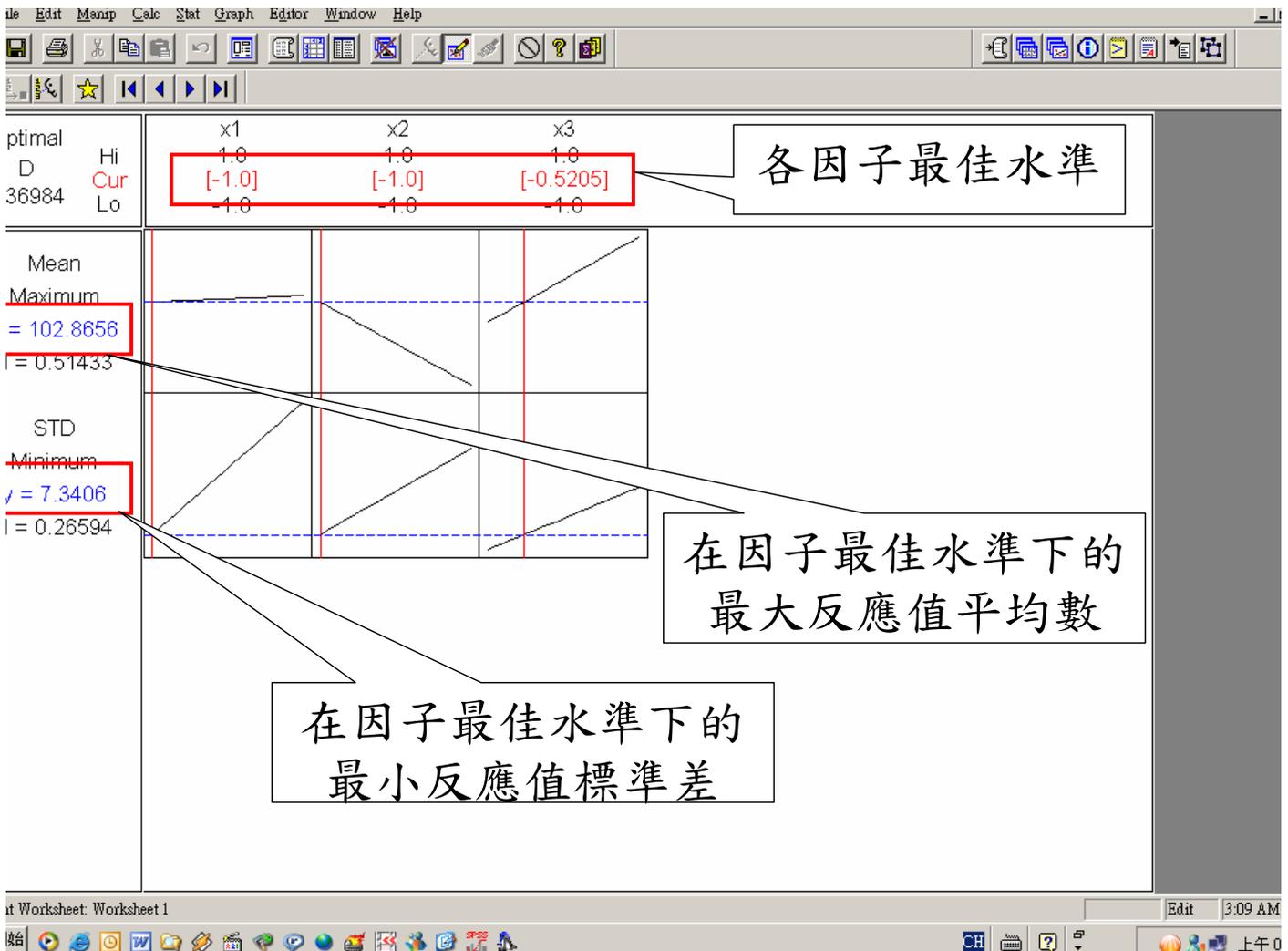
Cancel

Options...

Help

OK

Cancel



# 補充資料-渴望函數(Desirability function)

- Mintab的RSM，在進行多重反應曲面最佳化的過程，採用渴望函數來合併各個品質特性的反應值。渴望函數可以由權重幾何平均數計算，數學式定義為

$$D(d_1, d_2, \dots, d_n) = \sqrt[p_n]{d_1^{p_1} \times d_2^{p_2} \times \dots \times d_n^{p_n}}$$

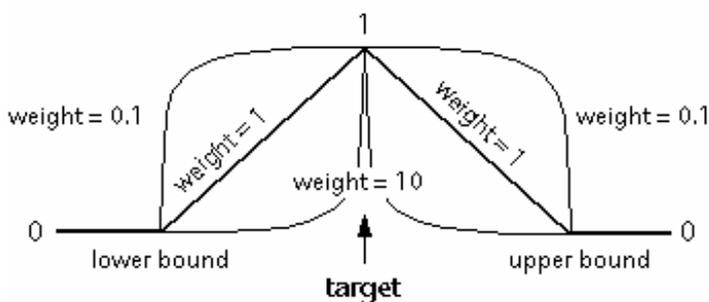
- $p$ 表示各品質特性的重要度，即Response optimizer-setup視窗中的importance，而 $d_i$ 表示各品質特性的渴望值。由於求解的目標不同，渴望值的計算也會不同。

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C8 Mean	Maximize	0	200		1	1
C9 STD	Minimize		0	10	1	1

# 補充資料-渴望函數(Desirability function)

- 望目特性

$$d_i = \begin{cases} 0 & \text{if } y_i < LSL_i \\ \left( \frac{y_i - LSL_i}{T_i - LSL_i} \right)^{w_i} & \text{if } LSL_i \leq y_i < T_i \\ \left( \frac{y_i - USL_i}{T_i - USL_i} \right)^{w_i} & \text{if } T_i \leq y_i < USL_i \\ 0 & \text{if } y_i > USL_i \end{cases}$$



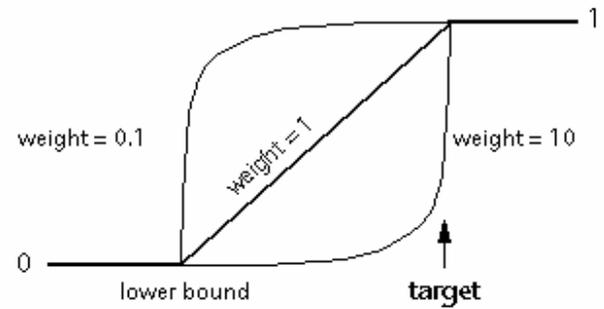
- $w$ 表示weight

Response	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Importance
C8 Mean	Maximize	0	200		1	1
C9 STD	Minimize		0	10	1	1

# 補充資料-渴望函數(Desirability function)

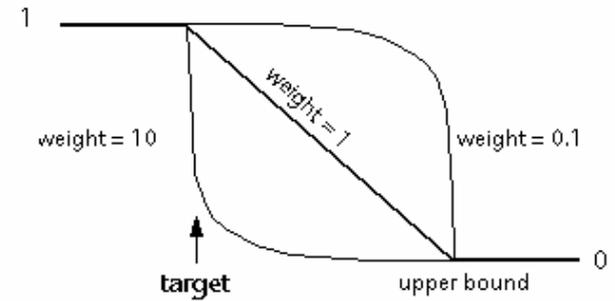
- 望大特性

$$d_i = \begin{cases} 0 & \text{if } y_i < LSL_i \\ \left( \frac{y_i - LSL_i}{T_i - LSL_i} \right)^{w_i} & \text{if } LSL_i \leq y_i < T_i \\ 1 & \text{if } y_i > T_i \end{cases}$$



- 望小特性

$$d_i = \begin{cases} 1 & \text{if } y_i < T_i \\ \left( \frac{y_i - USL_i}{T_i - USL_i} \right)^{w_i} & \text{if } T_i \leq y_i < USL_i \\ 0 & \text{if } y_i > USL_i \end{cases}$$



Derringer, G., and Suich, R., (1980), "Simultaneous Optimization of Several Response Variables," *Journal of Quality Technology*, 12, 4, 214-219.

國立雲林科技大學 工業工程與管理所

國立雲林科技大學 工業工程與管理所  
National Yunlin University of Science & Technology Industrial Engineering and Management

品質與可靠度工程實驗室  
Quality and Reliability Engineering Lab.

The END~~

Thank you