

3-3-2-2 以 SAS 分析經化學鍍鎳修飾之金屬氫化物電極在

10C 速率放電時活性物之利用率

吾人以表 3-99 裡各實驗組別在 10C 放電時金屬氫化物電極活性物之利用率為回應值，以 SAS 軟體進行分析，分析結果如在表 3-101 到表 3-110。由表 3-101 中得知因子 B、C、E 和 F 具有顯著性，而交互作用因子則以 AC 和 BC 具有顯著性。比較因子之均值，由表 3-102 到表 3-110 得知，因子 A 操作在 A₃(高水準)，因子 B 操作在 B₂(中水準)，因子 C 操作在 C₃(高水準)，因子 D 操作在 D₃(高水準)，因子 E 操作在 E₂(中水準)，因子 F 操作在 F₁(低水準)，可得到較佳之回應值。而兩兩交互作用因子則是在 A₁(低水準)和 B₂(中水準)，A₃(高水準)和 C₃(高水準)，B₂(中水準)和 C₂(中水準)有較佳的回應值。再藉由因子交互作用關係圖(圖 3-59 到圖 3-61)，得知在 A₁(低水準)和 B₂(中水準)，A₃(高水準)和 C₃(高水準)，B₂(中水準)和 C₂(中水準)有較佳的回應值，因圖中直線有彼此交叉，因此表示兩因子間有交互作用關係。由以上結果得知因子 A 操作在 A₁(低水準)和 A₃(高水準)，因子 B 操作在 B₂(中水準)，因子 C 操作在 C₂(中水準)與 C₃(高水準)，因子 D 操作在 D₃(高水準)，因子 E 操作在 E₂(中水準)，因子 F 操作在 F₁(低水準)，可得較佳之回應值，因此發現因子間有非線性效應存在，因此吾人再藉由回應曲面法來求得最佳化的化學鍍條件。

表 3-99 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率(不計入化學鍍鎳)

電極組成: 正極:跟耐能電池購得之商業化正極。負極:0.7g 金屬氫化物
+0.07ml 水 +0.07ml 甲醇+56μl PVA(7.69wt.%)。

電極活化程序:電池在充放電前先浸泡在 30°C 水浴中 12 小時, 充電速率=0.2C ,
放電速率=0.2C, SOC=160%, 放電截止電壓=0.95V, 充放電次數=5 次, T= 30°C。

測試程序:電池完成活化後以 0.2C 充電到 140% SOC, 在以 10C 放電到 0.3V。

No.#	Utilization/%	No.#	Utilization/%
-----*	7.6±0.3	17	23.1±0.6
1	7.6±5.4	18	27.8±1.8
2	6.9±2.3	19	0.8±0.8
3	0.02±0	20	3.5±0.1
4	43.8±6.2	21	51.9±4.8
5	50.9±5.5	22	0.1±0.0
6	29.8±1.3	23	57.1±3.0
7	6.0±4.1	24	19.4±3.9
8	24.9±4.2	25	1.3±1.3
9	37.4±2.9	26	28.6±0.6
10	25.1±2.7	27	26.9±1.9
11	9.4±0.6		
12	2.9±0.8		
13	8.7±2.9		
14	18.6±2.9		
15	40.6±6.1		
16	19.2±1.2		

#此編號與表 3-74 相同 *未經化學鍍鎳修飾金屬氫化物

表 3-100 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率(計入化學鍍鎳)

電極組成: 正極:跟耐能電池購得之商業化正極。負極:0.7g 金屬氫化物

+0.07ml 水 +0.07ml 甲醇+56 μ l PVA(7.69wt.%)。

電極活化程序:電池在充放電前先浸泡在 30°C 水浴中 12 小時, 充電速率=0.2C, 放電速率=0.2C, SOC=160%, 放電截止電壓=0.95V, 充放電次數=5 次, T= 30°C。

測試程序:電池完成活化後以 0.2C 充電到 140% SOC, 在以 10C 放電到 0.3V。

No.#	Utilization/%	No.#	Utilization/%
-----*	7.6 \pm 0.3	17	19.5 \pm 0.9
1	6.5 \pm 4.6	18	24.8 \pm 1.6
2	5.8 \pm 1.9	19	0.7 \pm 0.7
3	0.0 \pm 0	20	3.0 \pm 0.2
4	36.2 \pm 5.2	21	45.6 \pm 4.2
5	45.3 \pm 4.9	22	0.1 \pm 0.0
6	25.5 \pm 1.1	23	49.9 \pm 2.6
7	5.5 \pm 3.8	24	18.0 \pm 3.6
8	23.6 \pm 3.9	25	1.1 \pm 1.1
9	34.6 \pm 2.7	26	24.8 \pm 0.8
10	23.1 \pm 1.6	27	24.3 \pm 2.3
11	8.5 \pm 0.5		
12	2.5 \pm 0.7		
13	7.0 \pm 2.4		
14	15.8 \pm 2.4		
15	34.5 \pm 5.2		
16	16. 4 \pm 0.8		

#此編號與表 3-74 相同 *未經化學鍍鎳修飾金屬氫化物

表 3-101 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表之變方分析表

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
A	2	78.10	39.05	0.43	0.6572
B	2	2191.35	1095.68	11.95	0.0002
C	2	2547.95	1273.97	13.89	<.0001
E	2	2590.68	1295.34	14.13	<.0001
F	2	696.61	348.31	3.80	0.0343
D	3	135.33	67.66	0.74	0.4869
AB	4	865.02	216.25	2.36	0.0768
AC	4	1368.81	342.20	3.73	0.0144
BC	4	2227.97	556.99	6.07	0.0011

$R^2=0.8269$

A:反應時間 B:反應溫度 C:金屬氫化物含量

D:pH 值 E:還原劑濃度 F:錯合劑濃度

表 3-102 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 A 均值之比

較

Duncan Grouping	Mean	Factor A
A*	22.339	3
A*		
A*	20.284	1
A*		
A*	19.483	2

表 3-103 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 B 均值之比

較

Duncan Grouping	Mean	Factor B
A*	27.117	2
A*		
A*	22.973	3
B*	12.017	1

表 3-104 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 C 均值之比

較

Duncan Grouping	Mean	Factor C
A*	26.311	3
A*		
A*	24.767	2
B*	11.029	1

表 3-105 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 D 均值之比

較

Duncan Grouping	Mean	Factor D
A*	21.989	3
A*		
A*	21.646	2
A*		
A*	18.472	1

表 3-106 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 E 均值之比

較

Duncan Grouping	Mean	Factor E
A*	30.428	2
B*	16.851	3
B*		
B*	14.828	1

表 3-107 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 F 均值之比

較

Duncan Grouping	Mean	Factor F
A*	25.556	1
A*		
B*	19.573	3
B*		
B*	16.978	2

表 3-108 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 AB 均值之

比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/B
A*	33.233	1/2
A*		
B*	25.500	3 /2
B*		
B*	23.367	2 /3
B*		
B*	22.783	3 /3
B*		
B*	22.770	1 /3
B*		
B*	22.617	2/2
B*		
B*	18.733	3 /1
B*		
B*	12.467	2 /1
B*		
B*	4.850	1 /1

表 3-109 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 AC 均值之

比較

Duncan Grouping		Mean	Factor A/C
	A*	32.767	3 /3
	A*		
B*	A*	29.717	3 /2
B*	A*		
B*	A*	27.533	1 /2
B*	A*		
B*	A*	C*	23.750
B*	A*	C*	
B*	A*	C*	22.417
B*	A*	C*	
B*	A*	C*	17.650
B*	A*	C*	
B*	A*	C*	17.050
B*		C*	
B*		C*	10.903
		C*	
		C*	4.533

表 3-110 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放

電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 BC 均值之

比較

Duncan Grouping		Mean	Factor B/C
	A*	42.167	2 / 2
	A*		
B*	A*	30.717	3 / 3
B*	A*		
B*	A*	29.967	2 / 3
B*	A*		
B*	A* C*	25.517	3 / 2
B*			
B*	D* C*	18.250	1 / 3
	D* C*		
	D* C*	12.687	3 / 1
	D* C*		
	D* C*	11.183	1 / 1
	D* C*		
	D* C*	9.217	2 / 1
	D*		
	D*	6.617	1 / 2

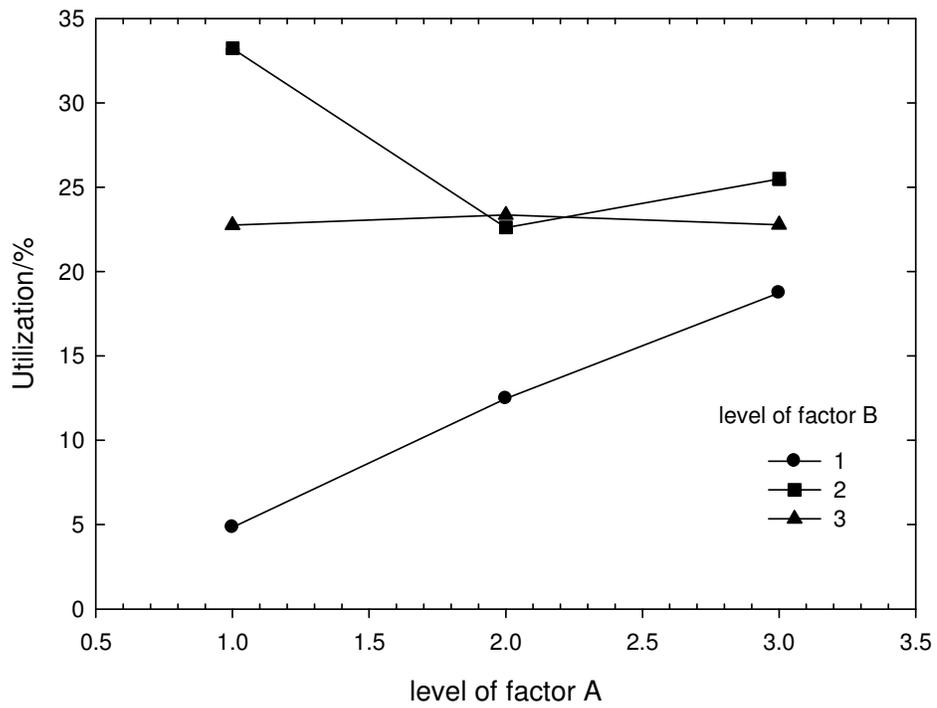


圖 3-59 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 A 與因子 B 之交互作用關係圖

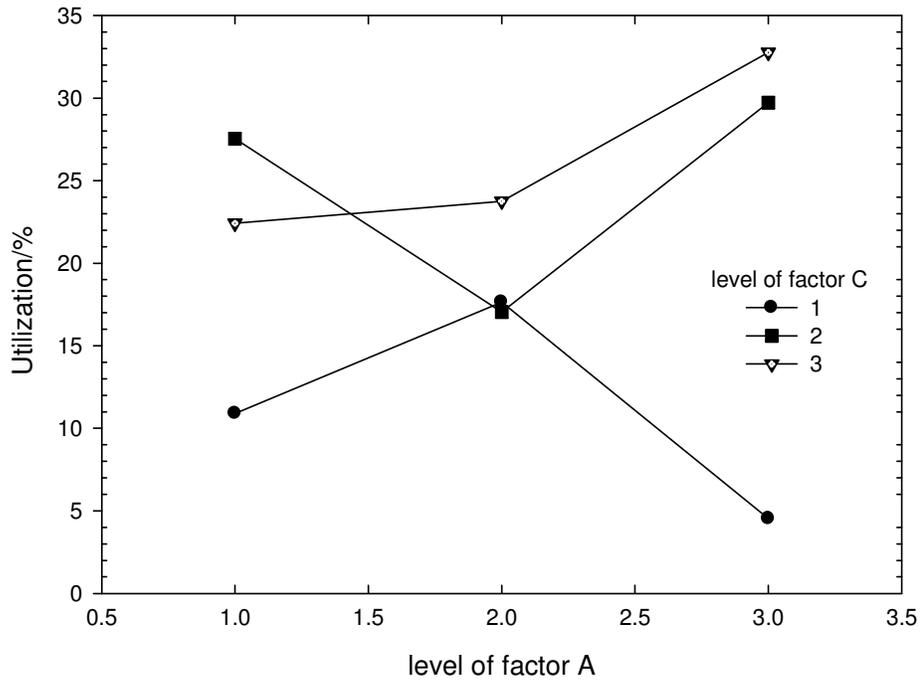


圖 3-60 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 A 與因子 C 之交互作用關係圖

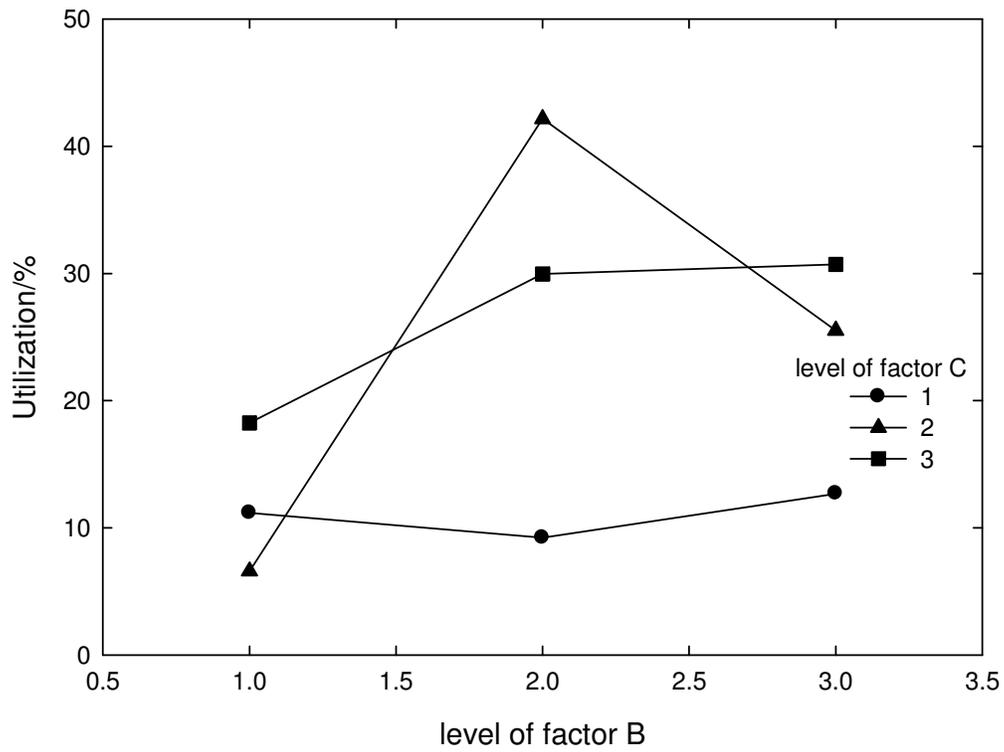


圖 3-61 以三水準直交表化學鍍鎳修飾之金屬氫化物以 10C 速率放電時利用率為回應值之 $L_{27}(3^{13})$ 直交表實驗中因子 B 與因子 C 之交互作用關係圖

利用表 3-99 的數據經由電腦數值計算後，得到式(3-12)，而表 3-111 為此回歸線之變方分析表。

$$\begin{aligned}
 y = & 44.18370 - 13.03778B^2 - 5.37111C^2 - 16.07111E^2 \\
 & [6.22] \quad [4.99] \quad [4.99] \quad [4.99] \\
 & -4.43167AB + 7.18167AC + 3.69000BC + 4.73778B + \\
 & [3.52] \quad [3.52] \quad [3.52] \quad [2.88] \\
 & 6.89556C + 3.77333D - 2.34889F \quad (3-12) \\
 & [2.88] \quad [2.88] \quad [2.88]
 \end{aligned}$$

因為 D, E 和 F 跟其他因子間沒有交互作用關係，因此固定因子 D 在高水準，因子 E 為中水準，因子 F 低水準，也就是 D 為 1, E 和 F 分別以 0 和 -1 代入式(3-12)，得到 下式

$$\begin{aligned}
 y = & 50.30592 - 13.03778B^2 - 5.37111C^2 - 4.43167AB \\
 & + 7.18167AC + 3.69000BC + 4.83778B + 6.89556C \quad (3-13)
 \end{aligned}$$

接著再分別將因子 A、B 和 C 視為參數，以式(3-13)做回應曲面，結果如分別為圖 3-62 到圖 3-64 中所示。在圖 3-62 中，發現隨著 A 增加，回應值亦增加，以 B 而言，回應值最大的區域在 B 為中水準，C 在 A 為 -1 時在，C 在中水準最佳回應值，隨著 A 增加，最後 C 在高水準會有較佳回應值。在圖 3-63 中，發現隨著 B 增加，回應值也增

表 3-111 表 3-99 中實驗結果之迴歸模式變方分析表

Source	DF	Sum of square	Mean square	F Value	Pr > F
Model	10	5393.40	539.34	3.61	0.0111
Error	16	2390.95	149.43		
Corrected Total	26	7784.36			

$R^2=0.6929$

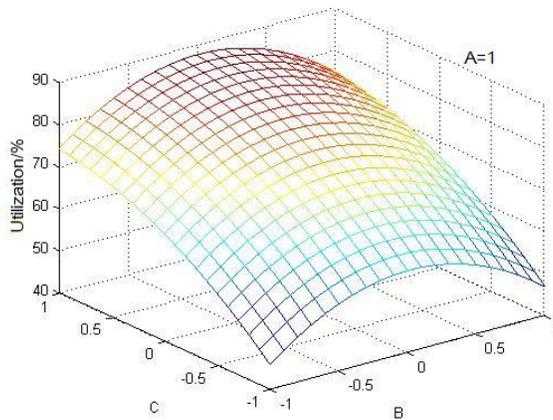
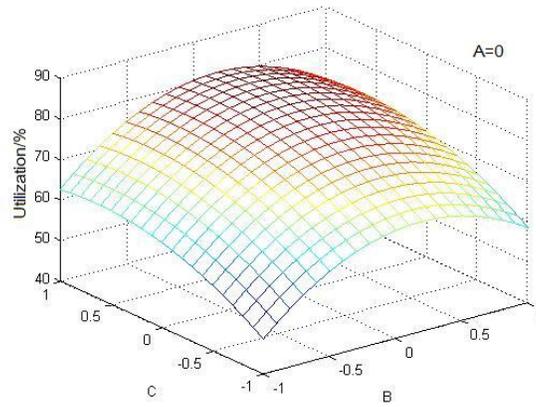
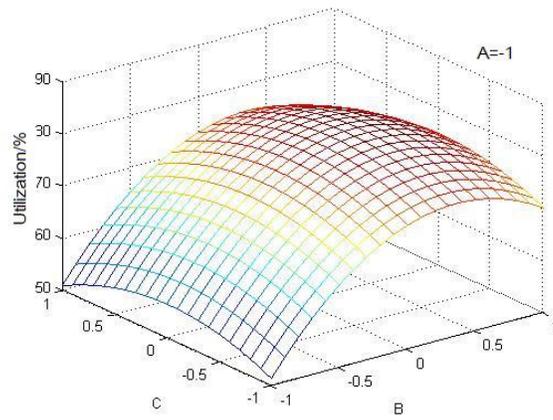


圖 3-62 以因子 A 為參數時，因子 B 與因子 C 對 10C 放電時利用率
之回應曲面關係圖

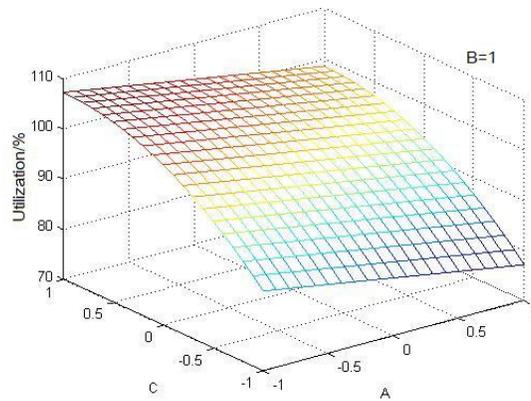
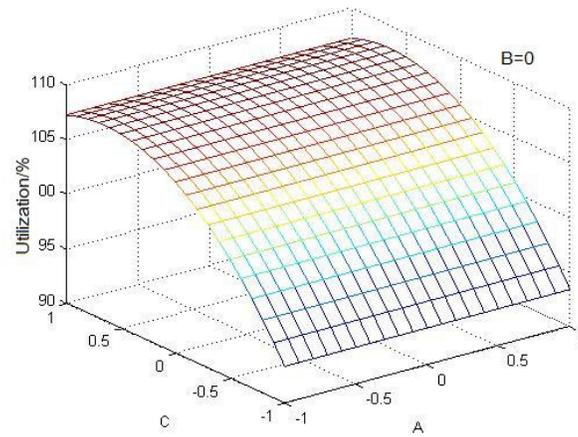
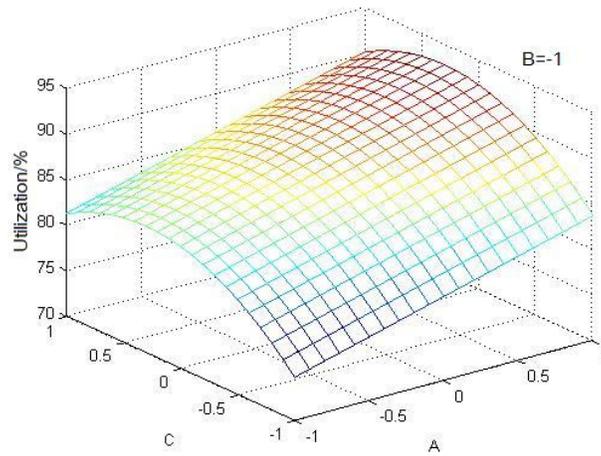


圖 3-63 以因子 B 為參數時，因子 A 與因子 C 對 10C 放電時利用率之回應曲面關係圖

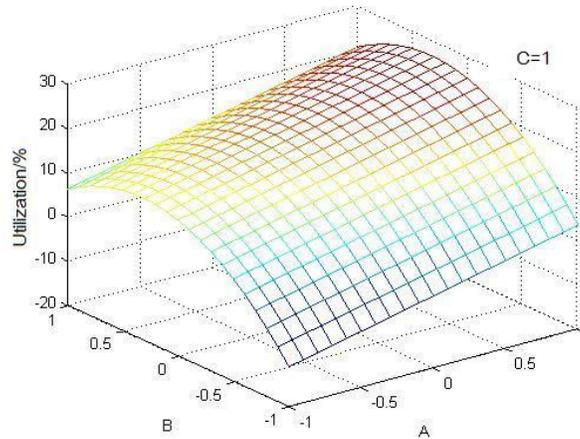
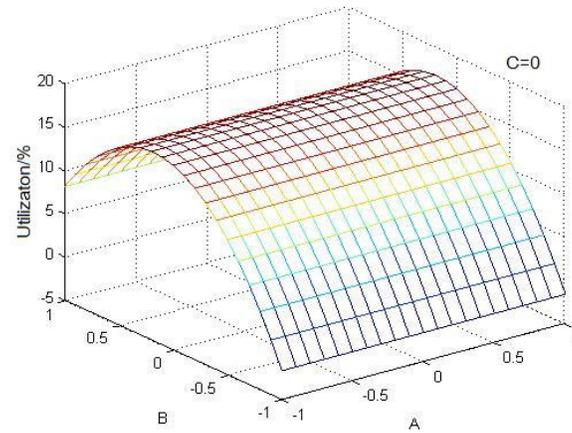
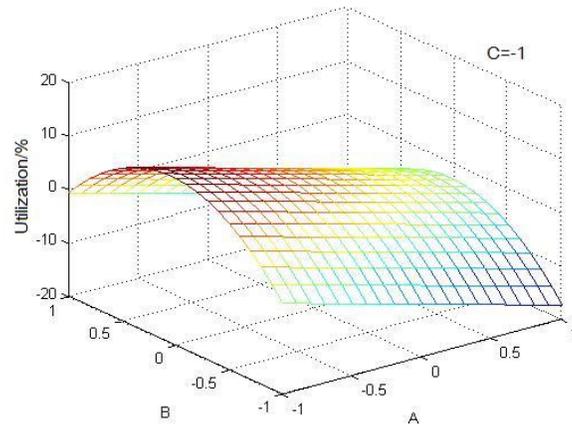


圖 3-64 以因子 C 為參數時，因子 A 與因子 B 對 10C 放電時利用率之回應曲面關係圖

加，而因子 A 則是隨著 B 參數的增加由高水準降到低水準，而因子 C 在 B 值為-1 時為中水準具有最佳回應值，隨著 B 值增加最後得到最佳回應值之 C 值為高水準。在圖 3-63 裡，發現隨著參數 C 增加，回應值跟著上升，因子 A 則由低水準增加到高水準，而因子 B 則都維持在中水準。

綜合以上結果得知因子 A 操作在高水準或低水準時會有較佳之回應值，不過從表 3-102 得知因子 A 在各水準的 Duncan group 的字母都一樣，表示在各水準操作下回應值差異性不大，因此參考表 3-102 中，在高水準有較佳之回應值，故吾人決定因子 A(反應時間)操作在高水準。而 B 在高水準和中水準有較佳回應值，從表 3-103 中得知因子 B 在高和中水準的均值差不多，因此因子 B 則選擇在中水準。至於因子 C 在高水準，因子 D 在高水準，因子 E 在中水準，因子 F 在低水準。也就是因子 A(反應時間)操作在高水準，因子 B(反應溫度)操作在中水準，因子 C(金屬氫化物含量)在高水準，因子 D(pH 值)為高水準，因子 E(還原劑含量)為低水準，因子 F(錯合劑用量)為中水準，可發現各因子的操作條件的分佈較為分散，從高、中、低都有，因此吾人推測這是因為雖然化學鍍所沉積在金屬氫化物表層的鎳層可以增加金屬氫化物導電性，有利快速放電增加活性物利用率；但是如果鎳層太厚反而會阻礙氫離子在金屬氫化表層的擴散，此點又不利於高

速放電之活性物利用率。因此當以經表 3-74 進行化學鍍鎳修飾金屬氫化物電極時，以 10C 速率放電之活性物利用率為回應值時，所求得之最佳化的化學鍍條件會進行鎳修飾，其鍍層厚度，存在一最佳值。故各因子操作條件分布在各個水準，方可得適當的這樣鎳層的沉積速率，此時鎳沉積量剛好可以增加導電性但又不至於阻礙到氫原子的擴散。