

3-2-2-4 以 SAS 分析探討化學鍍條件對金屬氫化物電極充放電性能之影響

在前面二個小節，吾人一共進行了活化利用率、快速放電、瞬間功率、以大電流從 40% 充電到 80% SOC 以與從 0% 充電到 120% SOC 等充放電性能的測試，由結果中發現金屬氫化物經化學鍍鎳修飾後，對於快速放電性能具有較良好的改善效果，在充電性能的改質效果不大，因此吾人在本節中將利用 SAS 只探討化學鍍鎳條件對放電性能的影響，依序討論化學鍍鎳條件對金屬氫化物完成活化後之利用率、以大電流放電時金屬氫化物之利用率以及電池功率的影響。吾人以 SAS 統計分析軟體找出化學鍍鎳條件和這三種性能之間的關係，接著再以所得之分析結果，利用三成分直交表設計實驗，得知最佳化學鍍修飾條件。

3-2-2-4(a) 化學鍍條件和金屬氫化物完成活化之利用率關聯性

吾人以前述中表 3-19 裡完成活化後的利用率為回應值，配合 SAS 統計分析軟體判斷出各因子之主效應與因子間之交互作用效應的顯著性。顯著性判斷標準乃分析所得中 $Pr > F$ 值，當此值小於 5% 時，此因子即具有顯著性。其之分析結果為表 3-38，可看出其中 A、

表 3-38 以金屬氫化物電極 完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗之變方分析表

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
A	1	7812.81	7812.81	181.27	<.0001
B	1	184.37	184.37	4.28	0.0525
C	1	994.69	994.69	23.08	0.0001
D	1	15216.84	15216.84	353.06	<.0001
E	1	25.90	25.90	0.60	0.4478
F	1	983.57	983.57	22.82	0.0001
AB	1	907.49	907.49	21.06	0.0002
AC	1	426.39	426.39	9.89	0.0053
AD	1	6862.35	6862.35	159.22	<.0001
BC	1	335.34	335.34	7.78	0.0117
BD	1	47.56	47.56	1.10	0.3067
EF	1	774.31	774.31	17.97	0.0004

$R^2=0.9769$

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

C、D 和 F 等因子具有顯著性，而兩因子間交互作用則以 AB、AC、AD、BC 和 EF 具有顯著性，其餘的較不顯著。由表 4-38 中可發現 A_1 (A 因子中之低水準)均值大於 A_2 (A 因子中之高水準)，且兩均值有顯著的差異性，表示因子 A 在低水準時會比高水準所測得之回應值高。同理，其他因子 B、C、D、E 和 F 之均值比較結果表示在表 3-40 至 3-44 中，結果發現因子 B 和 E 不具顯著性，而 C、D 和 F 則是在高水準會有較高之回應值。

接著考慮 AB、AC、BC、AD、BD 和 EF 之間的關係，其結果在表 3-45 至 3-49。由表 3-45 發現在 A_1 與 B_2 會有最佳之回應值；以相同方式處理因子 A 和 D 間之交互作用關係，在表 3-46 中發現以 A_1 和 D_2 有較佳之回應值，而表 3-47 到 3-49 的分析結果為 A_1 與 C_2 ， B_1 與 C_2 ， E_1 和 F_2 等具有較佳之為應值。這分析結果和前述中以單一因子之均值所得的結果一致。也就是說在因子 A 為 A_1 (低水準)，因子 B 為 B_1 (低水準)，因子 C 為 C_2 (高水準)，因子 D 為 D_2 (高水準)，因子 E 為 E_1 (低水準)，因子 F 為 F_2 (高水準)。即化學鍍的反應條件為較短的反應時間，較低的反應溫度，較多的儲氫合金用量，較高的 pH 值，較少的還原劑用量，較高的錯合劑用量，可以得到較佳的金屬氫化物活性物之利用率。上述操作條件除了 pH 值較高外，其餘操作條件皆朝向使鎳層的沉積速度較慢方向，可使修飾所得之金屬氫化物具有較

表 3-39 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 A 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A
A *	94.663	1
B *	63.412	2

表 3-40 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 B 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B
A*	81.438	1
A*	76.637	2

表 3-41 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 C 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor C
A*	84.613	2
B*	73.462	1

表 3-42 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 D 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor D
A*	100.844	2
B*	57.231	1

表 3-43 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 E 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor E
A*	79.937	1
A*	78.138	2

表 3-44 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 F 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor F
A*	84.581	2
B *	73.493	1

表 3-45 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 AB 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/B
A *	97.59	1 /2
A *		
A*	91.74	1 /1
A*		
B*	71.14	2 /1
B*		
B*	55.69	2 /2

表 3-46 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 AD 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/D
A*	101.825	1 /2
A*		
A*	99.863	2 /2
A*		
A*	87.500	1 /1
A*		
B*	26.961	2 /1

表 3-47 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 AC 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/C
A *	96.59	1 /2
A *		
A*	92.74	1 /1
A*		
B*	72.64	2 /2
B*		
B*	54.19	2 /1

表 3-48 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 BC 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B/C
A*	90.25	1 /2.
A*		
A*	78.98	2 /2
A*		
A*	74.30	2 /1
A*		
A*	72.63	1 /1

表 3-49 以金屬氫化物 電極完成活化後活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 EF 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor E/F
A*	90.40	1 /2
A*		
A*	78.76	2 /2
A*		
A*	77.51	2 /1
A*		
A*	69.47	1 /1

高之利用率，雖然鎳層可以增加導電性，但是鎳層太厚的話會阻礙氫離子的擴散，因此分析結果各操作條件才会有此趨勢出現。而操作在較高 pH 值，鍍層含磷量較低，導電性較好，因此化學鍍操作在上述的條件下，可以得到較高儲氫合金電極完成活化後活性物之利用率。

3-2-2-4(b) 化學鍍條件和以大電流放電時金屬氫化物電極活性物利用率之關聯性

吾人以表 3-27 裡金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物利用率為回應值(利用率計算時不考慮鎳負載量)，同樣的使用 SAS 軟體分析找出各因子和回應值之間的關係。由表 3-50 中可看出 A、B、C、D 和 E 有等因子均顯著性，而兩因子中則以 AB、AC、BC、BD 和 EF 具有顯著性。再從表 3-51 至 3-56 中得知，因子 A 操作在 A_1 ，因子 B 操作在 B_2 ，因子 C 操作在 C_1 ，因子 D 操作在 D_2 ，因子 E 操作在 E_2 會有較佳的回應值。

接下來再考慮兩兩因子間交互作用的影響，從表 3-57 到 3-61 可知在 A_1 和 B_1 ， A_1 和 C_1 ， B_2 和 C_1 ， B_1 和 D_2 ， E_2 和 F_1 會有較佳的回應值。兩兩因子交互作用分析的結果除了因子 B 外，其餘分析結果都和以單一因子分析的結果一致。從表 3-57 觀察當操作在 A_1B_1 與

表 3-50 以金屬氫化物電極 以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗之變方分析表

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
A	1	3380.27	3380.27	453.20	<.0001
B	1	60.64	60.64	8.13	0.0102
C	1	521.56	521.56	69.93	<.0001
D	1	4476.70	4476.70	600.20	<.0001
E	1	358.25	358.25	48.03	<.0001
F	1	3.37	3.37	0.45	0.5093
AB	1	206.30	206.30	27.66	<.0001
AC	1	1003.63	1003.63	134.56	<.0001
AD	1	4.27	4.27	0.57	0.4585
BC	1	481.51	481.51	64.56	<.0001
BD	1	176.96	176.96	23.72	0.0001
EF	1	1425.11	1425.11	191.07	<.0001

$R^2=0.9884$

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 3-51 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 A 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A
A*	33.4750	1
B*	12.9194	2

表 3-52 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 B 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B
A*	24.5738	2
B*	21.8206	1

表 3-53 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 C 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor C
A*	27.2344	1
B*	19.1600	2

表 3-54 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 D 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor D
A*	35.0250	2
B*	11.3694	1

表 3-55 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 E 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor E
A*	26.5431	2
B*	19.8513	1

表 3-56 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 F 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor F
A*	23.5219	1
A*	22.8725	2

表 3-57 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 AB 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/B
A*	34.638	1 /1
A*		
A*	32.313	1 /2
A*		
B*	16.835	2 /2
B*		
B*	9.004	2 /1

表 3-58 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 AC 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/C
A *	43.113	1 /1
B*	23.838	1 /2
B*		
B*	14.483	2 /2
B*		
B*	11.356	2 /1

表 3-59 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 BC 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B/C
A*	32.490	2 /1.
A*		
A*	21.979	1 /1
A*		
A*	21.663	1 /2
A*		
A*	16.658	2 /2

表 3-60 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 BD 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B/D
A*	36.000	1 /2.
A*		
A*	34.050	2 /2
B*		
B*	15.098	2 /1
B*		
B*	7.641	1 /1

表 3-61 以金屬氫化物電極以 10C 放電時活性物之利用率為回應值之

$L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 EF 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor E/F
A*	33.541	2 /1
A*		
A*	26.200	1 /2
A*		
A*	19.545	2 /2
A*		
A*	13.503	1 /1

A_1B_2 ，兩者的 Duncan grouping 字母相同，表示差異性其實不大。因此綜合以上推論，因子 A 在 A_1 (低水準)，因子 B 在 B_2 (高水準)，因子 C 在 C_1 (低水準)，因子 D 在 D_2 (高水準)，因子 E 在 E_2 (高水準)，因子 F 在 F_1 (低水準)會有較佳的回應值。因此化學鍍條件操作在較短的反應時間，較高的反應溫度，較少的儲氫合金使用量，較高的 pH 值，較高的還原劑用量，以及較少的錯合劑用量，金屬氫化物電極以 10C 放電時可得到較佳的活性物利用率。會得到這些條件的原因，是因為金屬鍍層可以增進導電性，而目前分析之回應值為大電流放電之利用率，因此較多的鎳沉積有助於降低電阻，有利於放電性能提升。因此各實驗因子以 SAS 分析後，發現大部分是增加鎳層沉積速度的趨勢，所得分析結果為較高的反應溫度，較少的儲氫合金使用量，較高的還原劑以及較少的錯合劑用量等，皆可加速鎳的沉積速度，但是過厚的鎳層反而會影響到氫原子擴散，因此反應時間的分析結果是操作在較短的條件，以防止過量的鎳沉積；其實要得到相同的鎳沉積量，可以有兩種選擇；其中之一是較慢的沉積速度，但增加沉積時間，但此方式所得到的鎳鍍層較為緻密，不利於氫原子的傳送。第二種方式為較快的沉積速度，但較短的沉積時間，以此方式所得之鎳層較為多孔，有利於氫離子的傳送，對快速放電中氫離子的進出有利，故分析的結果呈現出此種化學鍍條件。而 pH 值較高的話鍍層含磷量較少，

鍍層電阻較低，對快速放電性能較有利。

3-2-2-4(c) 化學鍍條件和以大電流放電時金屬氫化物電極電 功率之關聯性

在油電混合車使用時，電池電量的使用一般都保持在 80% 到 40% SOC 間，這是因為電池必需要隨時準備大電流充電和放電，所以電池電量不可以完全充滿和放光。因此在本節中，吾人以電功率做為回應值分析時，選擇介於 80%與 40% SOC 間之 60% SOC 時的電功率作為分析之基準。利用前述中表 3-34 裡金屬氫化物電極在 60% SOC 時，以 10C 放電之瞬間功率(計算功率時考慮鎳負載量)為回應值，以 SAS 軟體進行分析。由表 3-62 中可知因子 A、D 和 F 具有顯著性，而兩因子方面，發現 AD、BC 和 EF 等具有顯著性。再從表 3-63 到 3-71 中得知，因子 A 操作在 A_1 ，因子 D 操作在 D_2 ，因子 F 操作在 F_2 會有較佳得回應值，而兩因子中則是以 A_2 和 D_2 ， B_2 和 C_1 和 E_1 和 F_2 有較佳的回應值，其中因子 A 在兩交互作用因子的分析結果和單一因子分析時有衝突，但從表 3-69 發現在 A_1D_2 和 A_2D_2 的 Duncan Grouping 字母一樣，表示在這兩個操作水準所得之回應值差異不大，因此吾人根據單一因子分析所得知結果選擇因子 A 操作在低水準，而 BC 則是在 B_2 與 C_1 ，但單一因子分析時因子 B 和因子 C 均不具顯

表 3-62 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗之變方分析表

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
A	1	75.12	75.12	90.32	<.0001
B	1	3.54	3.54	4.26	0.0529
C	1	1.16	1.16	1.40	0.2509
D	1	192.52	192.52	231.45	<.0001
E	1	0.19	0.19	0.23	0.6403
F	1	3.95	3.95	4.75	0.0420
AB	1	3.19	3.19	3.84	0.0649
AC	1	0.46	0.46	0.56	0.4647
AD	1	85.05	85.05	102.25	<.0001
BC	1	10.14	10.14	12.19	0.0024
BD	1	2.50	2.50	3.01	0.0990
EF	1	9.69	9.69	11.65	0.0029

$R^2=0.9608$

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 3-63 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 A 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A
A*	0.7088	1
B *	-2.3556	2

表 3-64 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 B 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B
A*	-0.4906	2
A*	-1.1563	1

表 3-65 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 C 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor C
A*	-0.6325	2
A *	-1.0144	1

表 3-66 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 D 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor D
A*	1.6294	2
B *	-3.2763	1

表 3-67 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 E 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor E
A*	-0.7469	1
A *	-0.9000	2

表 3-68 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 F 均値之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor F
A*	-0.4719	2
B *	-1.1750	1

表 3-69 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 AD 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor A/D
A*	1.7275	2 /2
A*		
A*	1.5313	1 /2
B*	-0.1137	1 /1
C*	-6.4388	2 /1

表 3-70 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 BC 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor B/C
A*	-0.119	2 /1
A*		
A*	-0.403	1 /2
A*		
A*	-0.863	2 /2
A*		
A*	-1.910	1 /1

表 3-71 以金屬氫化物電極在 60%SOC 下以 10C 放電之瞬間功率為回

應值之 $L_{16}(2^{15})$ 直交表實驗中因子 EF 均值之比較

Duncan Grouping	Mean	Factor E/F
A*	0.155	1 /2.
A*		
A*	-0.701	2 /1
A*		
A*	-1.099	2 /2
A*		
A*	-1.649	1 /1

著性，從表 3-62 中得知因子 B 的 $Pr > F$ 值為 0.0529，和 0.05 相差不遠，也就是說因子 B 在顯著性介於邊緣上，所以才會造成因子 B 和因子 C 交互作用後具有顯著性。

總合以上結論，得到因子 A 在 A_1 (低水準)，因子 B 在 B_2 (高水準)，因子 C 在 C_2 (高水準)，因子 D 為 D_2 (高水準)，因子 E 在 E_1 (低水準)，因子 F 為 F_2 (高水準)，會有較佳回應值。也就是化學鍍鎳條件操作在較短的反應時間，較高的溫度，較多的儲氫合金用量，較高的 pH 值，較少的還原劑用量，以及較高的錯合計用量下，金屬氫化物電極在 60% SOC 時，以 10C 瞬間放電時可以得到較大的瞬間功率。會得到這些條件的原因和和前面兩小節的討論結果一樣，pH 值較高鍍層含磷量較低；而反應時間較短，儲氫合金用量較多，較少的還原劑用量，較高的錯合劑用量皆會導致鎳沉積速度較慢，因此反應溫度才會要操作在較高的條件下，以便適當增加鎳的析出速度。

3-2-2-4(d) 以三水準直交表實驗設計法更探討修飾金屬氫化物之化學鍍條件最佳化

在 3-2-2-4(a)到 3-2-2-4(c)節中，吾人分別以金屬氫化物電極完成活化後活性物之利用率、以 10C 速率放電時活性物利用率，以及在 60% SOC 下以 10C 速率瞬間放電時之瞬間功率為回應值，使用 SAS 分析軟體找出化學鍍條件和各回應值之關係。不過事實上，以兩水準之實驗設計只能判斷因子的線性關係，也就是所測得之極值只會發生在高低水準的其中一個。可是當極值發生在兩水準中間時，也就是因子效應為非線性時，以兩水準之實驗設計法不易得知最佳化條件結果便會有偏差。因此在下一階段的實驗，吾人使用三水準之實驗設計來精確描述實驗因子對回應值的變動影響條件，進一步利用回應曲面來估計化學鍍條件對金屬氫化物電極放電性能之影響。

表 3-72 為以上述三種不同回應值進行 SAS 分析所得到化學鍍條件和回應值間之關係表，在選擇操作條件時，如果表中三個回應值的操作條件不一致時，吾人選擇以出現次數較多的操作水準為主，做為設計三水準直交表之依據。由表中可發現實驗操作在反應時間較短，反應溫度較高，儲氫合金含量較高，pH 值為較高，較少的還原劑和較多的錯合劑用量，表中的三個回應值可以得到較好的表現。因此反應時間由原本的 10 到 40 分鐘改為 5 到 20 分鐘，反應溫度則還是保

表 3-72 回應值最佳化之化學鍍實驗因子

實驗因子	因子條件		
	活化利用率 (不含化學鍍鎳)	10C 放電利用率 (不含化學鍍鎳)	10C 放電功率(在 60% SOC)(含化 學鍍鎳)
A(反應時間)	短	短	短
B(反應溫度)	低	高	高
C(金屬氫化物含量)	高	低	高
D(pH 值)	高	高	高
E(還原劑濃度)	低	高	低
F(錯合劑濃度)	高	高	高

持在 70 到 90°C，溫度沒有再提升的原因是因為溫度高於 90°C 時，將使水溶液沸騰，因此溫度範圍還是不變。金屬氫化物含量則還是為 2 到 4 克。pH 值則由 3.0 到 7.0 調整為 5.0 到 9.0。還原劑濃度原本是 10 到 30 g L⁻¹，雖然分析結果是用量較少較好，但是還原劑太少可能會造成化學鍍反應太慢，無法有效的修飾金屬氫化物，因此還原劑濃度改為 15 到 45 g L⁻¹。錯合劑用量是較高較好，因此由原本的 10 到 30g L⁻¹ 提升為 10 到 50 g L⁻¹。

表 3-73 為三水準直交表各實驗因子操作水準與範圍，交互作用的兩因子方面，一共考慮三個回應值具有顯著性的兩交互作用因子中，取其交集的因子，因此為 AB、AC 和 BC。

表 3-74 是以 L₂₇(3¹³)直交表所設計之 27 組實驗，吾人便以這 27 組實驗條件對金屬化物進行化學鍍鎳修飾，在組裝成電池後進行放電性能測試。

表 3-73 三水準直交表各實驗因子操作水準與範圍

實驗因子	水準		
	1	2	3
A(反應時間)/min	5min	10min	20min
B(反應溫度)/°C	70	80	90
C(金屬氫化物含量)/g	2	3	4
D(pH 值)	5	7	9
E(還原劑濃度)/g L ⁻¹	15	30	45
F(錯合劑濃度)/g L ⁻¹	10	30	50

表 3-74 以 $L_{27}(3^{13})$ 直交表設計之化學鍍實驗條件配置表

No.	反應時間 /min	反應溫度 /°C	儲氫合金含 量/g	pH 值	還原劑濃度/ gL ⁻¹	錯合劑濃度/ gL ⁻¹
1	5	70	2	5	15	10
2	5	70	3	7	30	30
3	5	70	4	9	45	50
4	5	80	2	9	30	30
5	5	80	3	5	45	50
6	5	80	4	7	15	10
7	5	90	2	7	45	50
8	5	90	3	9	15	10
9	10	90	4	5	30	30
10	10	70	2	7	30	50
11	10	70	3	9	45	10
12	10	70	4	5	15	30
13	10	80	2	5	45	10
14	10	80	3	7	15	30
15	10	80	4	9	30	50
16	10	90	2	9	15	30
17	10	90	3	5	30	50
18	10	90	4	7	45	10
19	20	70	2	9	45	30
20	20	70	3	5	15	50
21	20	70	4	7	30	10
22	20	80	2	7	15	50
23	20	80	3	9	30	10
24	20	80	4	5	45	30
25	20	90	2	5	30	10
26	20	90	3	7	45	30
27	20	90	4	9	15	50