

中華民國第四十四屆中小學科學展覽會

作者說明書

高中組生活與應用科學科

040810

臺南縣私立興國高級中學

指導老師姓名

楊仁文

作者姓名

王易柔

翁涵育

蔡宛妤

張琮浩

鉛酸電池之最佳充電電流與快速充電之研究

壹、摘要：

電動車是解決空氣污染的重要工具，而高電能容量的電池則是其動力的來源，除了電池的蓄電量，電池的充電速度同時決定了二次電池在電動車上使用的價值，有鑑於一般傳統定壓充電餘充電後期的低壓差導致充電速度減慢且大量拉長充電時間的缺點，本研究以高電能容量的鉛酸電池為研究對象，研究各溶液濃度、溫度、極板條件下的最佳充電電流，並且將各極板、溫度、溶液濃度下的最佳充電電流以變壓差充電充電的程序應用於電池的充電，結果顯示；使用變壓充電程序之鉛酸電池確實可較定壓充電之鉛酸電池節省一半的時間。

貳、動機：

電動車是解決空氣污染的重要工具，而電池則是其動力的來源，除了正積極研發之氫氧燃料電池可由氫氣提供無污染的能源外，若要利用其他能源(例如：太陽能、核能)於交通工具，則可攜式充電電池的需要是不容忽略的。

可攜式充電電池的價值在於高電容量和短充電時間，這兩者相關學者目前均積極地投入研究，以鉛酸電池為例，高電容量已趨向成熟而短充電時間則仍待突破，因此本研究期待由此切入盼能有所助益。

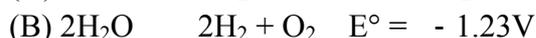
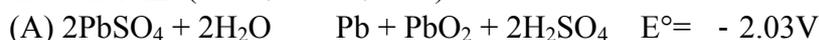
參、目的：

- 1、研究各操作條件(溫度、濃度、極板距離、極板面積)對電池充電時副反應發生率之影響。
- 2、求出各變因下之最佳充電電流。
- 3、組合各變因下之最佳充電電壓，設計出快速充電的模式。
- 4、比較傳統之定壓充電與快速充電的差別。

肆、原理：

(一)鉛電池中之氧化還原反應：

標準化學位 (1atm、25 °C、1M)



(二). 副反應：

1、副反應之發生：承上所述當通電流於水溶液中時，各條件下(A)、(B)同時擷獲或放出電子之比率各有不同，主反應(A)進行充電之同時(B)亦在得到電子產生 H₂ 和 O₂ 此為電池充電之副反應。

2、影響副反應發生率之因素：

副反應之發生率係離子在水溶液中得失電子能力之競爭，除了與氧化還原電位有關尚與離子在水溶液之反應行為有關，故副反應發生率可能受下列因素之影響：(1)、反應物之本性(氧化還原電位之高低)(2)、濃度(3)、溫度(4)、極板距離(5)、極板面積(6)、充電電流大小。

3、副反應發生率之計算：

(1) 由 $Q = It$

得知通電時間內通入水溶液中之電子 mole 數 $n_{e^-} = Q/F$ 。

(2) 測充電時產生之氣體總體積 V：

因為； V_{H₂}: V_{O₂} = 2 : 1 且 V_{H₂}+V_{O₂} = V 故 $V_{H_2} = 2V/3$ 。

(3) 又 $PV_{H_2} = n_{H_2} R T$ 得知 H_2 之發生 mole 數 = n_{H_2} 。

(4) 由 $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ 生成 1mole H₂ 消耗之電子 mole 數 = 2 n_{H₂}。

(5) 副反應發生率 % = (參與生成 H₂ 之電子 mole 數/總電子 mole 數) × 100 %。

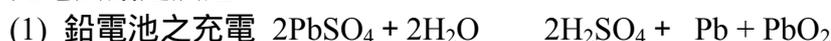
(三)最佳充電電流之決定：

- 1、依實驗結果得知，當 $[H_2SO_4] > 5M$ 左右，則鉛電池中之 Pb 將和硫酸直接發生反應，一來腐蝕電極，二則降低電池之供電電壓。
- 2、由上述知；若充電之過程中，過分之電解水則充電完成之時， $[H_2SO_4]$ 將因水量減少而提高，導致電極和 H_2SO_4 反應變而損壞電極縮短鉛電池之使用期限。
- 3、最佳充電電流之決定，考慮下列因素：
 - (1)、愈少的副反應發生率。
 - (2)、愈短的充電時間。
 - (3)、可接受的電池使用期限。

因此；其最佳值相對之副反應發生率將隨實用價值而改變，本研究取副反應為 3% 或 5% 為最佳充電電流供參考。

(四)最佳充電程序之設計和比較：

- 1、充電之過程中，電池之濃度、溫度、極板面積、內電阻均隨時間而改變，若欲模擬出其詳細之行為，則須以較複雜之模式來描述，故本研究計劃以實驗之結果來配合理論，以簡化系統，期能設計出較佳之充電程序。
- 2、參考實驗結果，模擬實際充電程序與最佳充電程序並比較其充電時間之差異。
- 3、充電終點之決定：



故每生成 1mole 之 H_2SO_4 所需之電量 $2mole e^-$ ， $2 \times 96500 = 193000$ (庫侖)

(2) 充電時有副反應發生。故：

1 考慮有效充電使 $[H_2SO_4]$ 上升之部分。

2 考慮失去 H_2O 使 $[H_2SO_4]$ 上升之部分。

由 1、2 計算得當 $[H_2SO_4] = 5M$ 時即為充電終點，故此時之充電時間，即為充電時間，而主反應所儲存之電量可代表電流儲存之電能。(Note $E = QV$)

伍、藥品與研究設備器材：



FIG.1



FIG.2

- 1、藥品：濃度 5M 的硫酸電解液（經由滴定原廠所附的電解液得知濃度並配置）、氫氧化鈉、酚酞、凡士林。
- 2、研究設備器材：

- (1) 機車用鉛電池電極板（氧化鉛及二氧化鉛）極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 。
- (2) 三樑天秤、燒杯、滴定管（橡皮開關）、滴定用鐵架、蝴蝶夾、量筒、刮勺、玻棒、定量吸管。
- (3) 電壓計、安培計、可變電阻器、電源供應器、恆溫槽、鱷魚夾溫度計、橡皮管、壓力計。
- (4) 自製反應器、健素糖罐、橡皮塞、輪子內胎。

陸、實驗步驟：

(一) NaOH 溶液之配製：

- 1、以三樑天秤秤取 2g 之適量固體 NaOH，溶於裝有適量水之燒杯，再裝溶液倒入 500ml 之定量瓶中。加水至 500ml，則 0.1M 之 NaOH 即為所求。
< Note > 配製 NaOH 之蒸餾水順先者沸且密閉冷卻，除去水中之可溶性氣體。
- 2、配製成之 NaOH 水溶液應密閉置放；防止 CO₂ 作用而失效。

(二) H₂SO₄ 溶液之配置：

- 1、取試藥級 98 % 之 H₂SO₄ 250g，緩緩倒入裝有適量水之燒杯中，使之均勻混合。
- 2、將步驟 1 之溶液倒入 500ml 之定量瓶，加水至 500ml 則得 5M 之 H₂SO₄。
- 3、稀釋：取 5MH₂SO₄ 適量體積，至入 500ml 之定量瓶中，加水至 500ml 稀釋成 4M、3M、2M、1M，即得各濃度。

(三) 充電電流對副反應發生率之影響：

- 1、設恆溫槽於一定之溫度。
- 2、壓反應器中置入定濃度定量之 H₂SO₄ 溶液。
- 3、將裝置連接如 FIG1 和 FIG3 所示。
- 4、將反應器置入水槽中，檢查是否氣密。
- 5、將反應器置入恆溫槽中使達熱平衡。
- 6、按下 K1 開關讀取電壓 V₀，記下氣體收集器支初刻度。
- 7、按下 K2 開關調整電源供應器以操作之電流充電一分鐘。
- 8、打開 K2，並讀取末電壓 V，記錄氣體收集器之末刻度。
- 9、將反應器以可變電阻器放電，直到 6 之電壓。
- 10、改變充電電流 (0.1A、0.2A、0.3A、.....) 大小重覆 7~9 之步驟，得各電流電流下之副反應發生率。
- 11、改變[H₂SO₄](5M,4M,3M,2M,1M)重覆 2-10 之步驟得各濃度下之濃度
- 12、改變溫度(10 ~50)重覆 1~11 之步驟得溫度之效應。

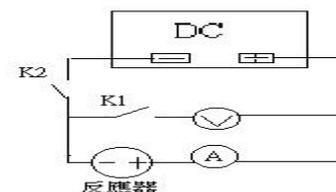


FIG.3

(四) 極板面積對副反應發生率之影響：

- 1、設恆溫槽於一定之溫度。
- 2、壓反應器中置入定濃度定量之 H₂SO₄ 溶液,固定極板面積。
- 3、將裝置連接如 FIG1 和 FIG3 所示。
- 4、將反應器置入水槽中，檢查是否氣密。
- 5、將反應器置入恆溫槽中使達熱平衡。
- 6、按下 K1 開關讀取電壓 V₀，記下氣體收集器支初刻度。
- 7、按下 K2 開關調整電源供應器以操作之電流充電一分鐘。
- 8、打開 K2，並讀取末電壓 V，記錄氣體收集器之末刻度。
- 9、將反應器以可變電阻器放電，直到 6 之電壓。
- 10、改變充電電流 (0.1A、0.2A、0.3A、.....) 大小重覆 7~9 之步驟，得各電流電流下之副反應發生率。
- 11、改變面積(4.3×5.65cm²、4.3×3.7cm²、4.3×1.9cm²)，重覆 2-10 之步驟。
- 12、改變[H₂SO₄](5M,1M)重覆 2-11 之步驟得溫度之效應。

(五) 極板距離對副反應發生率之影響：

- 1、設恆溫槽於一定之溫度。
- 2、壓反應器中置入定濃度定量之 H₂SO₄ 溶液,固定極板距離。
- 3、將裝置連接如 FIG1 和 FIG3 所示。
- 4、將反應器置入水槽中，檢查是否氣密。
- 5、將反應器置入恆溫槽中使達熱平衡。

- 6、按下 K1 開關讀取電壓 V_0 ，記下氣體收集器支初刻度。
- 7、按下 K2 開關調整電源供應器以操作之電流充電一分鐘。
- 8、打開 K2，並讀取末電壓 V ，記錄氣體收集器之末刻度。
- 9、將反應器以可變電阻器放電，直到 6 之電壓。
- 10、改變充電電流 (0.1A、0.2A、0.3A、.....) 大小重覆 7~9 之步驟，得各電流電流下之副反應發生率。
- 11、改變距離(2cm,1cm,0.5cm),重覆 2-10 之步驟。
- 12、改變 $[H_2SO_4]$ (5M,1M),重覆 2-11 之步驟得各濃度下之效應

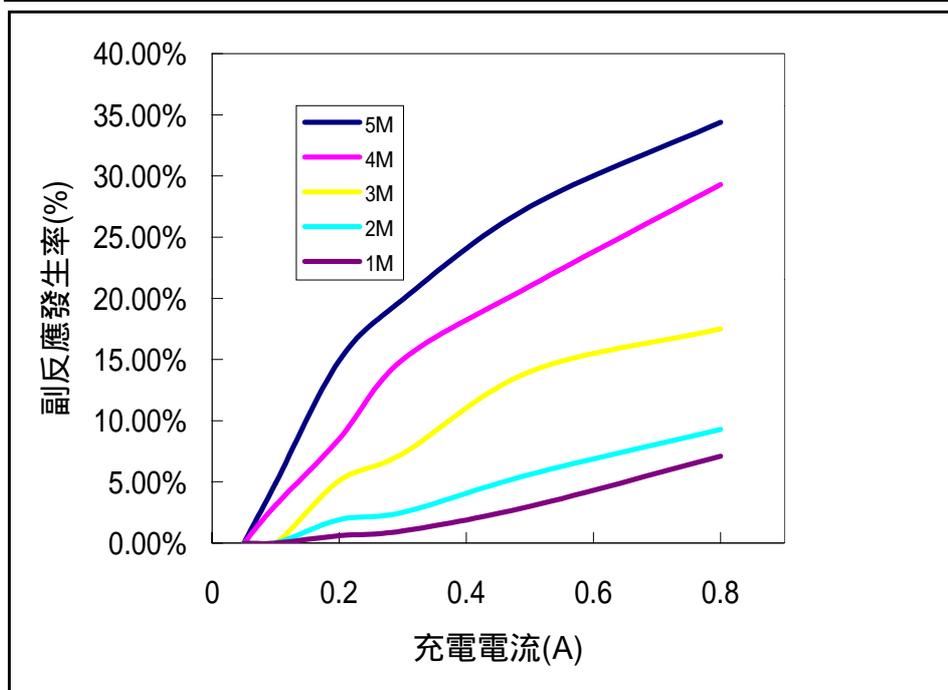
(六)鉛酸電池放電過程中電解液濃度對使用時間的影響：

- 1、將電解液濃度為 5M 的鉛酸電池和伏特計及毫安培計連接如右圖一。
- 2、關上 K1，紀錄電池之電壓 V_0 ，關上 K2 同時按下碼表紀錄電池之輸出電流、電壓和毫安培計的讀數。
- 3、經適當之時間打開 K2 紀錄電壓，在關上 K2 紀錄輸出電壓、電流，並取適量電解液進行滴定而求得電解液濃度。
- 4、紀錄時間直到電池電壓至 0.5V 以下。

柒、實驗結果：

【表 1】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響 (10^{-2} 、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

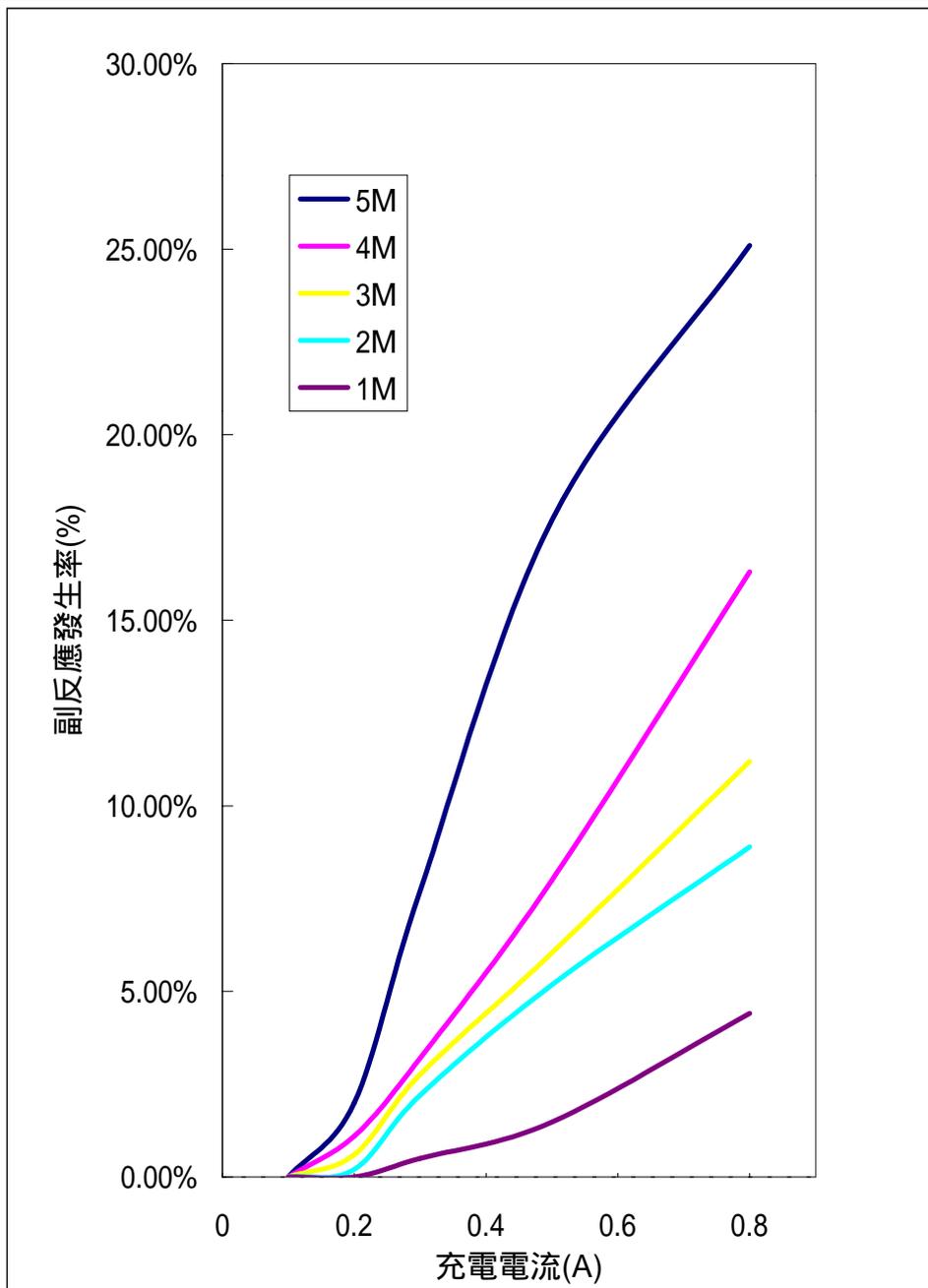
	0.05	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
5M	0.00%	4.90%	14.90%	19.90%	27.50%	34.40%
4M	0.00%	3.10%	8.50%	15.00%	21.00%	29.30%
3M	0.00%	0.00%	5.10%	7.30%	14.00%	17.50%
2M	0.00%	0.00%	1.90%	2.50%	5.60%	9.30%
1M	0.00%	0.00%	0.60%	1.00%	3.00%	7.10%



【圖 1】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響 (10^{-2} 、極板面積 = 極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 2】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響（20℃、極板面積 = 極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm）

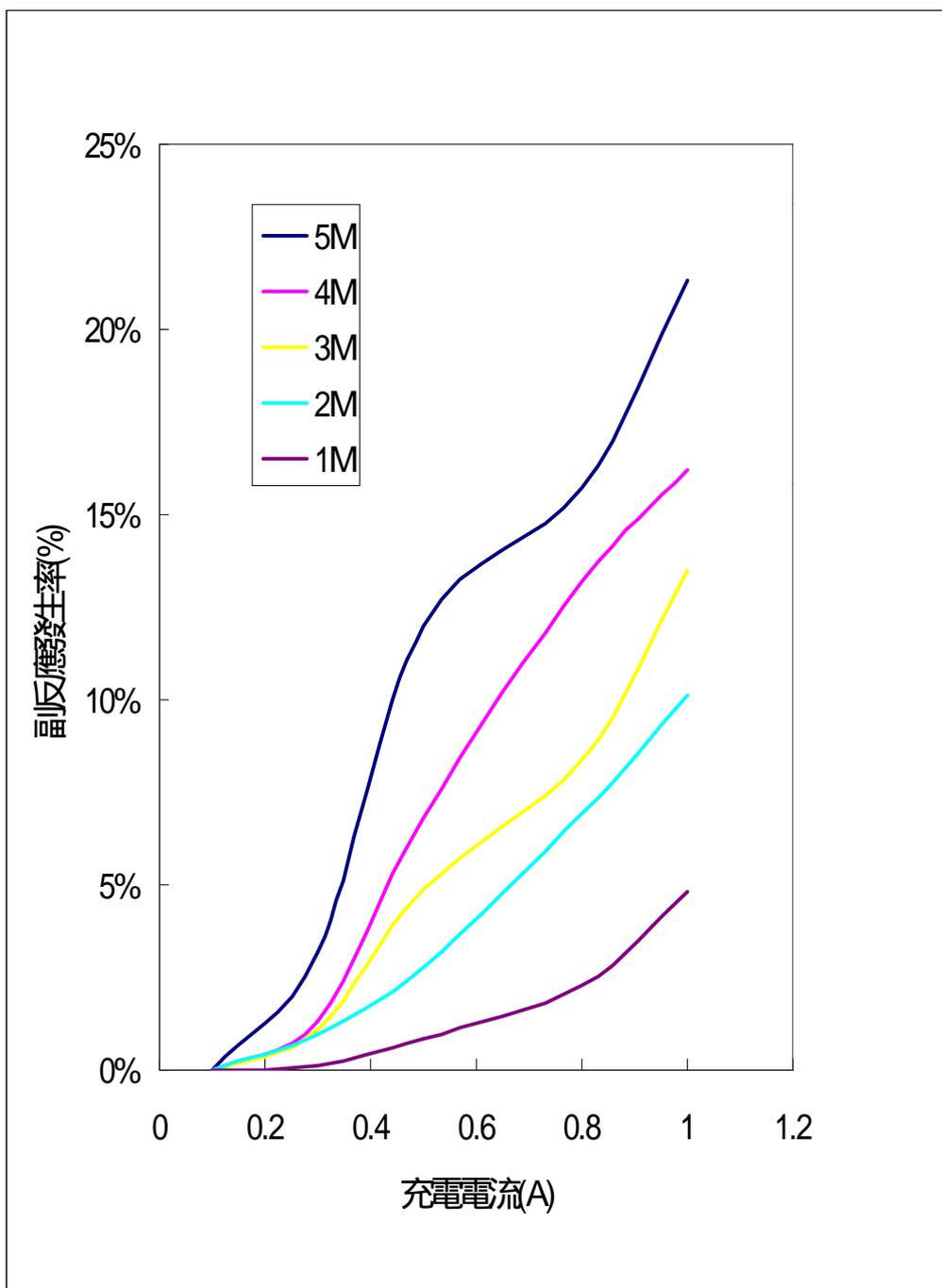
	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
5M	0.00%	2.00%	7.70%	17.70%	25.10%
4M	0.00%	1.10%	3.20%	8.00%	16.30%
3M	0.00%	0.60%	2.76%	6.04%	11.20%
2M	0.00%	0.20%	2.20%	5.18%	8.90%
1M	0.00%	0.00%	0.50%	1.48%	4.41%



【圖 2】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響（20℃、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm）

【表 3】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響 (30²、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm)

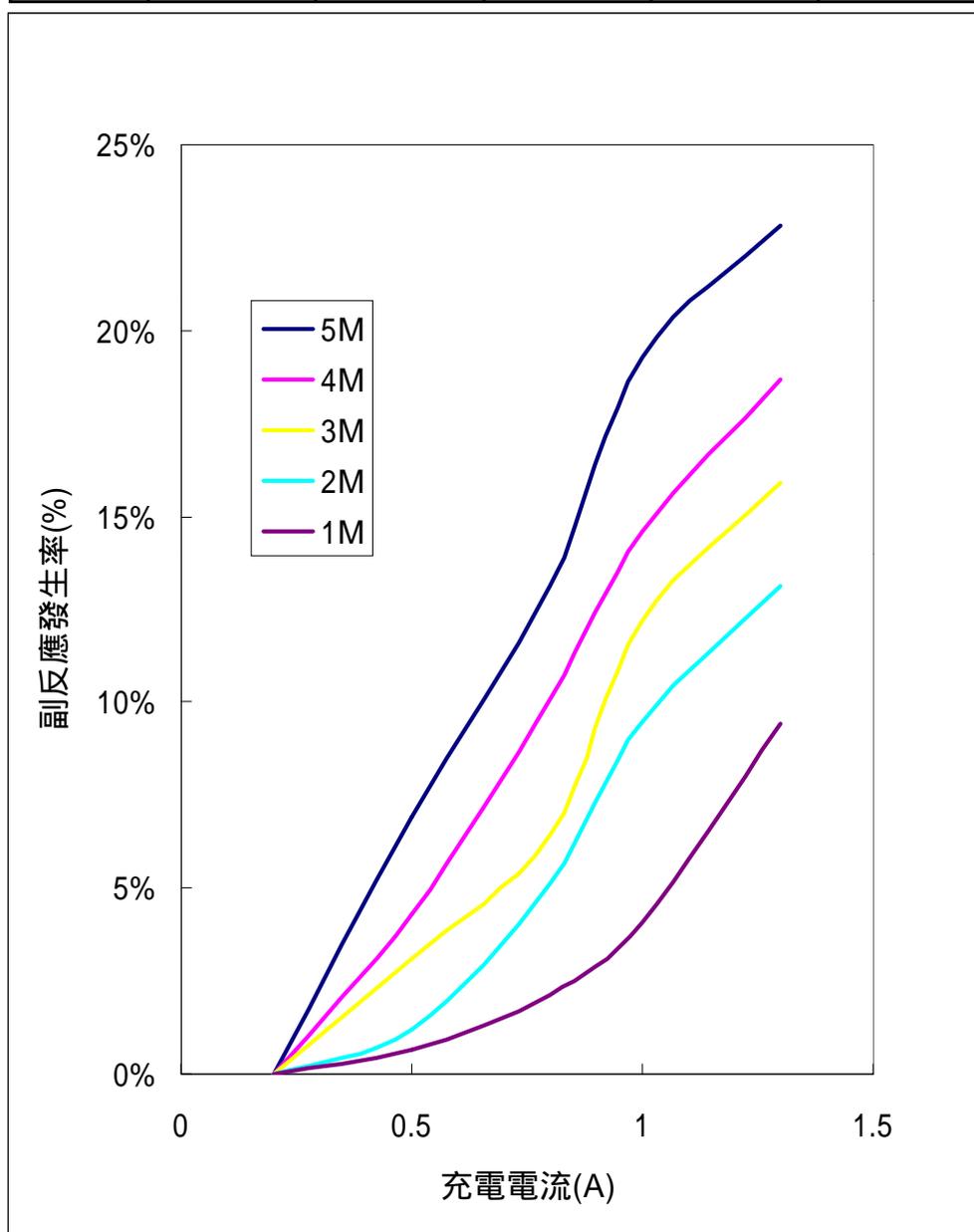
	0.1	0.3	0.5	0.8	1
5M	0%	3.20%	12%	15.70%	21.30%
4M	0%	1.30%	6.80%	13.20%	16.20%
3M	0%	1.10%	4.90%	8.40%	13.50%
2M	0%	0.98%	2.80%	6.90%	10.10%
1M	0%	0.15%	0.83%	2.30%	4.80%



【圖 3】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響 (30²、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm)

【表 4】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響（40²、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm）

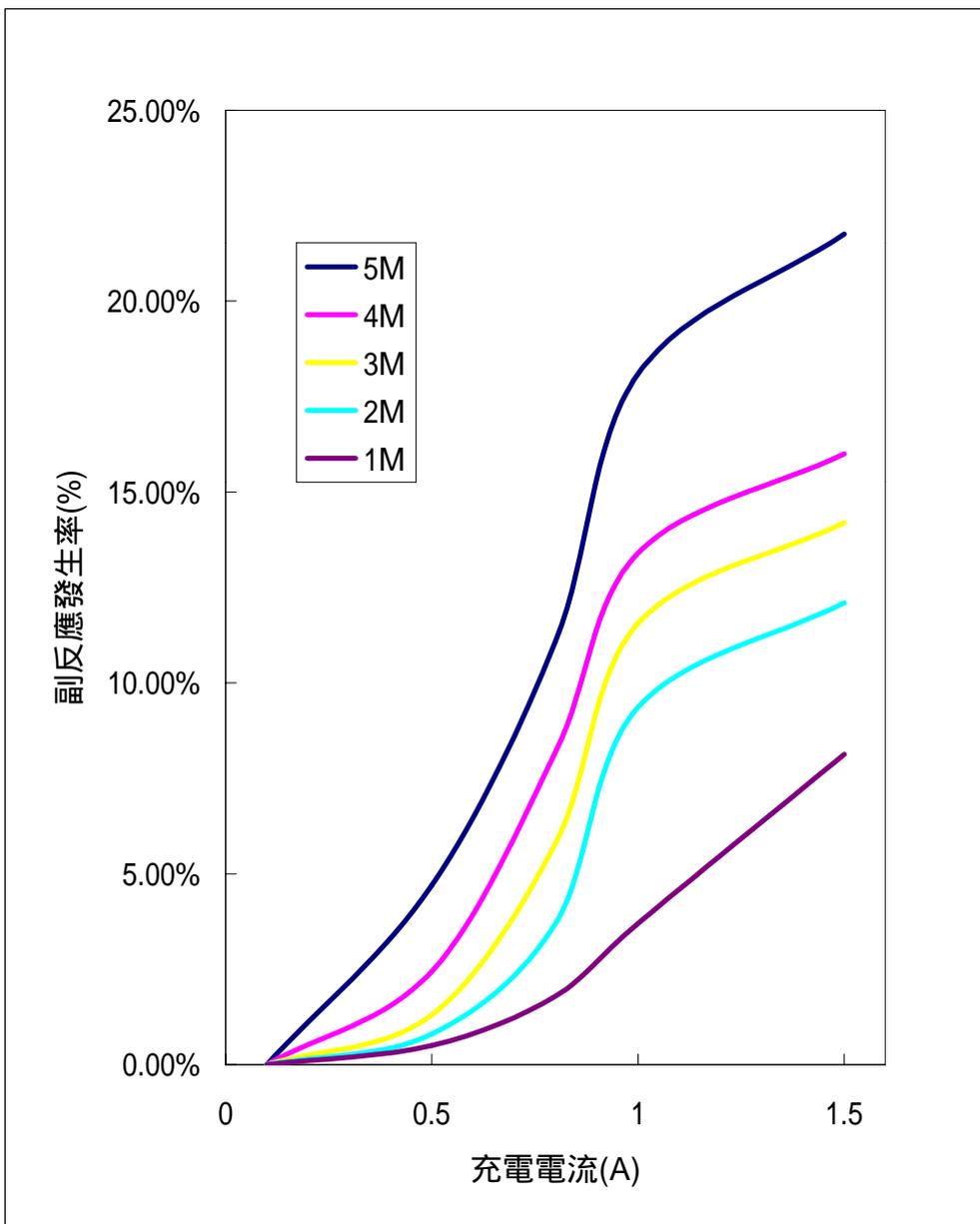
	0.2	0.5	0.8	1	1.3
5M	0%	6.90%	13.10%	19.30%	22.80%
4M	0%	4.30%	10.10%	14.60%	18.70%
3M	0%	3.10%	6.40%	12.20%	15.90%
2M	0%	1.20%	5.10%	9.50%	13.10%
1M	0%	0.68%	2.10%	4.10%	9.40%



【圖 4】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響（40²、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm）

【表 5】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響（50²、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm）

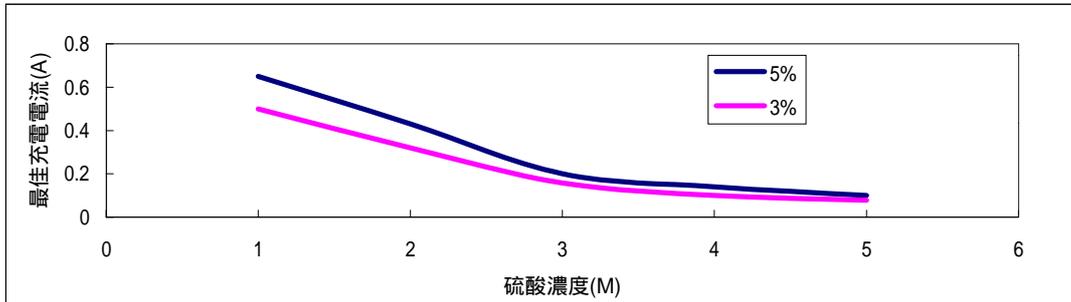
	0.1	0.5	0.8	1	1.5
5M	0.00%	4.70%	11.10%	18.10%	21.76%
4M	0.00%	2.44%	8.20%	13.40%	16.00%
3M	0.00%	1.30%	5.80%	11.56%	14.20%
2M	0.00%	0.80%	3.70%	9.37%	12.10%
1M	0.00%	0.50%	1.80%	3.70%	8.13%



【圖 5】鉛電池各濃度下，充電電流對副反應發生率之影響（50²、極板面積 = 4.3 × 3.7 cm²、極板距離 = 2 cm）

【表 6】、10 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

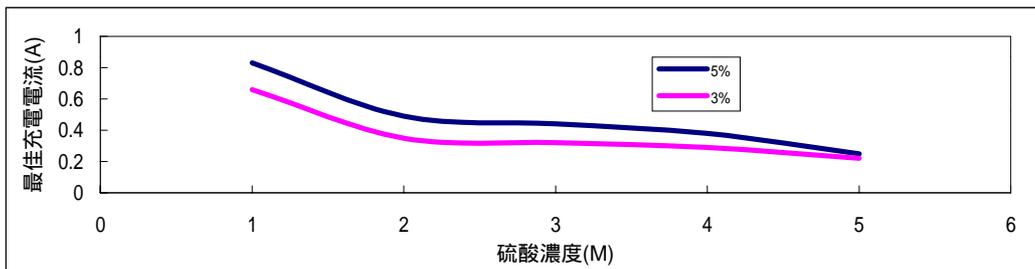
濃度	5	4	3	2	1
5%	0.1	0.14	0.2	0.43	0.65
3%	0.078	0.1	0.158	0.32	0.5



【圖 6】、10 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 7】、20 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

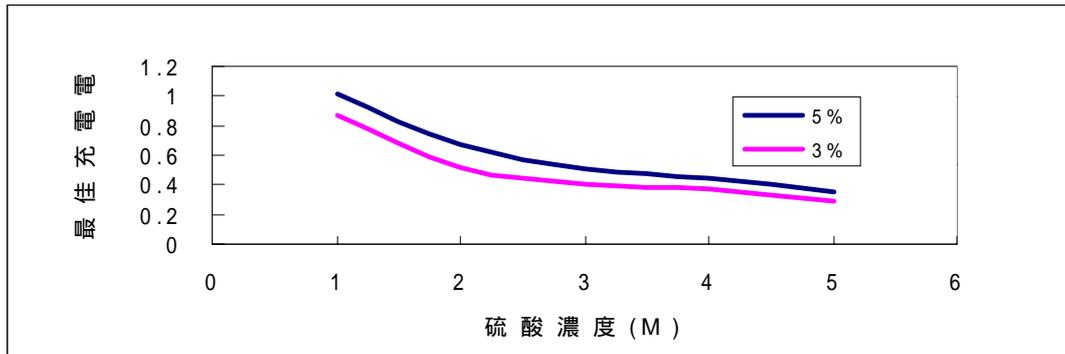
濃度	5	4	3	2	1
5%	0.25	0.38	0.44	0.49	0.83
3%	0.22	0.29	0.32	0.35	0.66



【圖 7】、20 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 8】、30 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

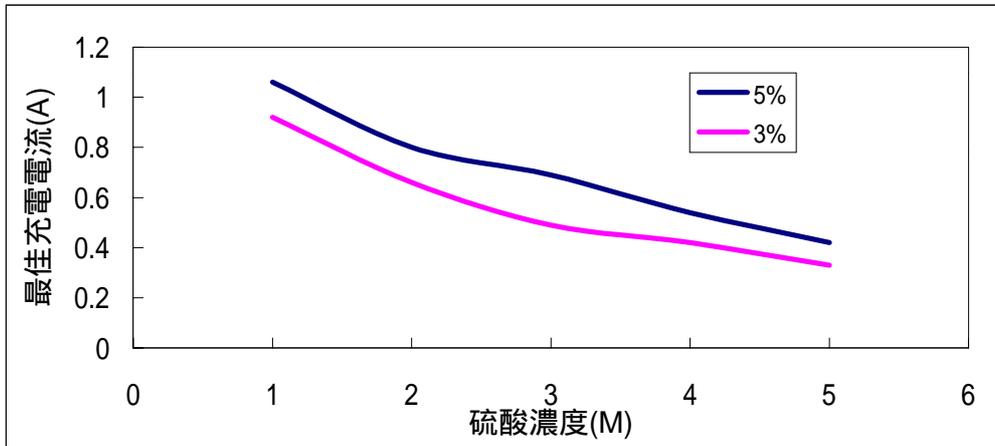
濃度	5	4	3	2	1
5%	0.35	0.44	0.51	0.67	1.01
3%	0.29	0.37	0.4	0.52	0.87



【圖 8】、30 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$)

【表 9】 40 最佳充電電流與濃度之關係(最佳充電電流參考標準:副反應發生率 = 3%、5%、
極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

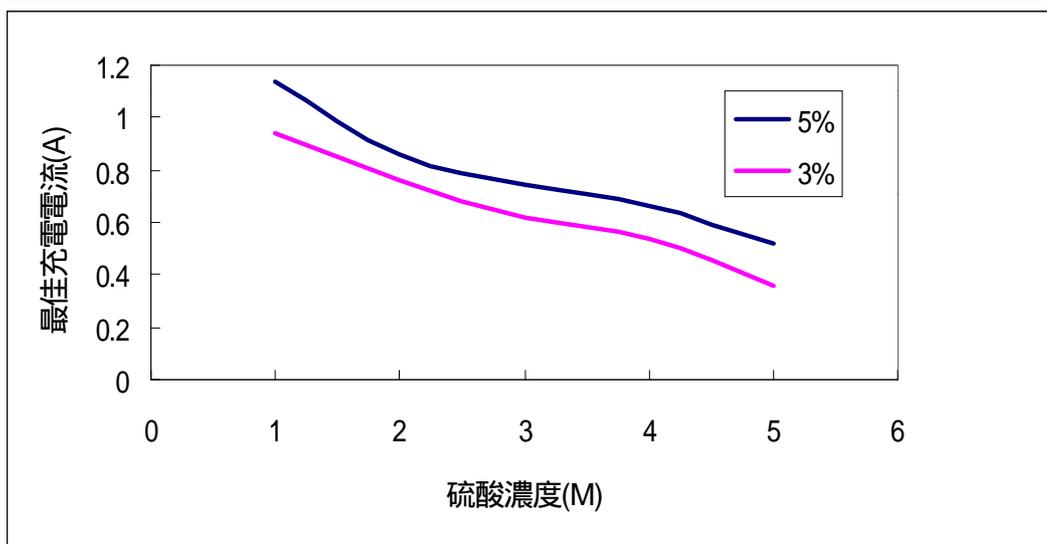
濃度	5	4	3	2	1
5%	0.42	0.54	0.69	0.8	1.06
3%	0.33	0.42	0.49	0.66	0.92



【圖 9】 40 最佳充電電流與濃度之關係(最佳充電電流參考標準:副反應發生率 = 3%、5%、
極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 10】 50 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準:副反應發生率 = 3%、
5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

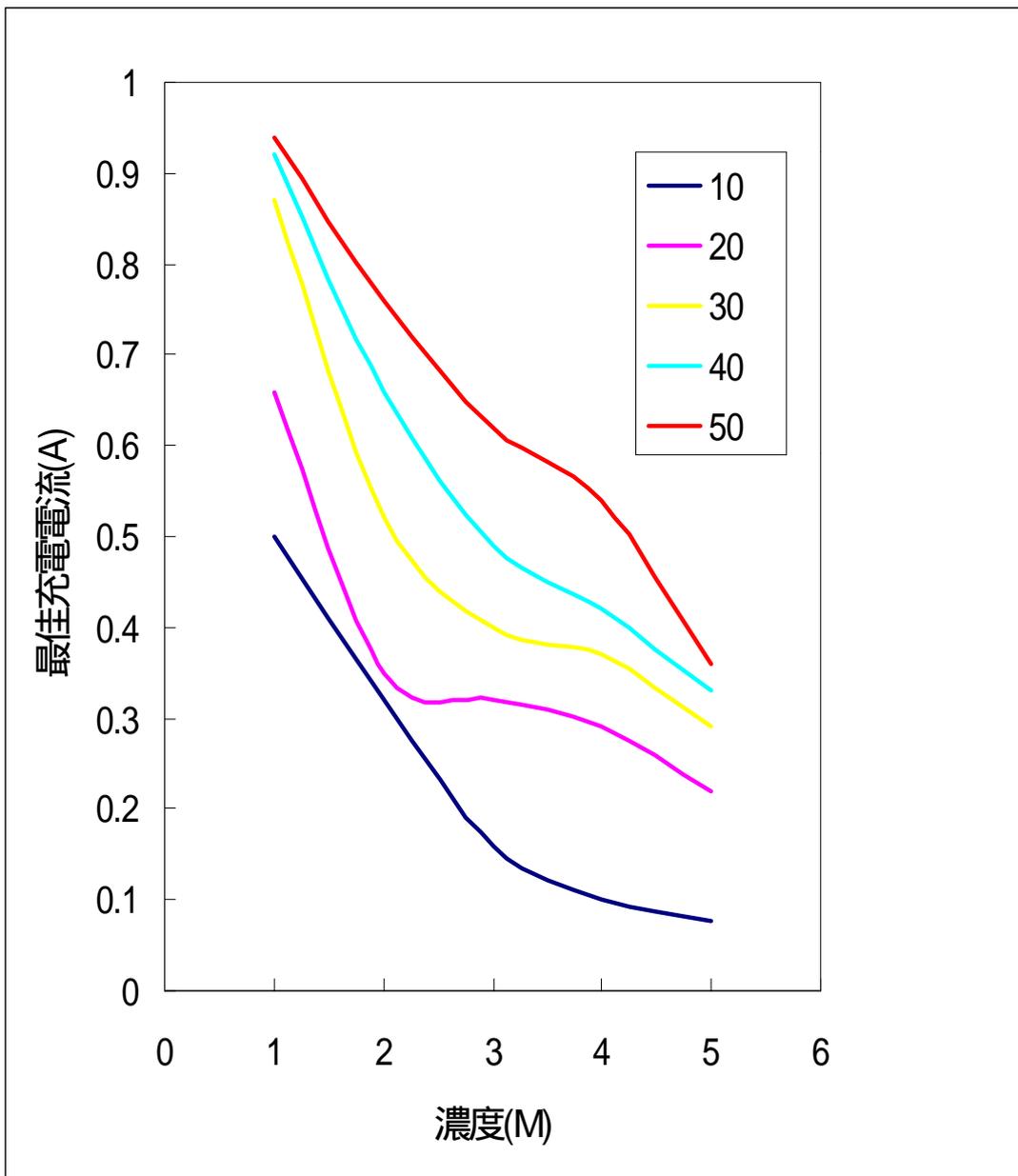
濃度	5	4	3	2	1
5%	0.52	0.66	0.74	0.86	1.14
3%	0.36	0.54	0.62	0.76	0.94



【圖 10】 50 最佳充電電流與濃度之關係 (最佳充電電流參考標準:副反應發生率 = 3%、
5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 11】、各溫度下，最佳充電電流與濃度之關係（最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

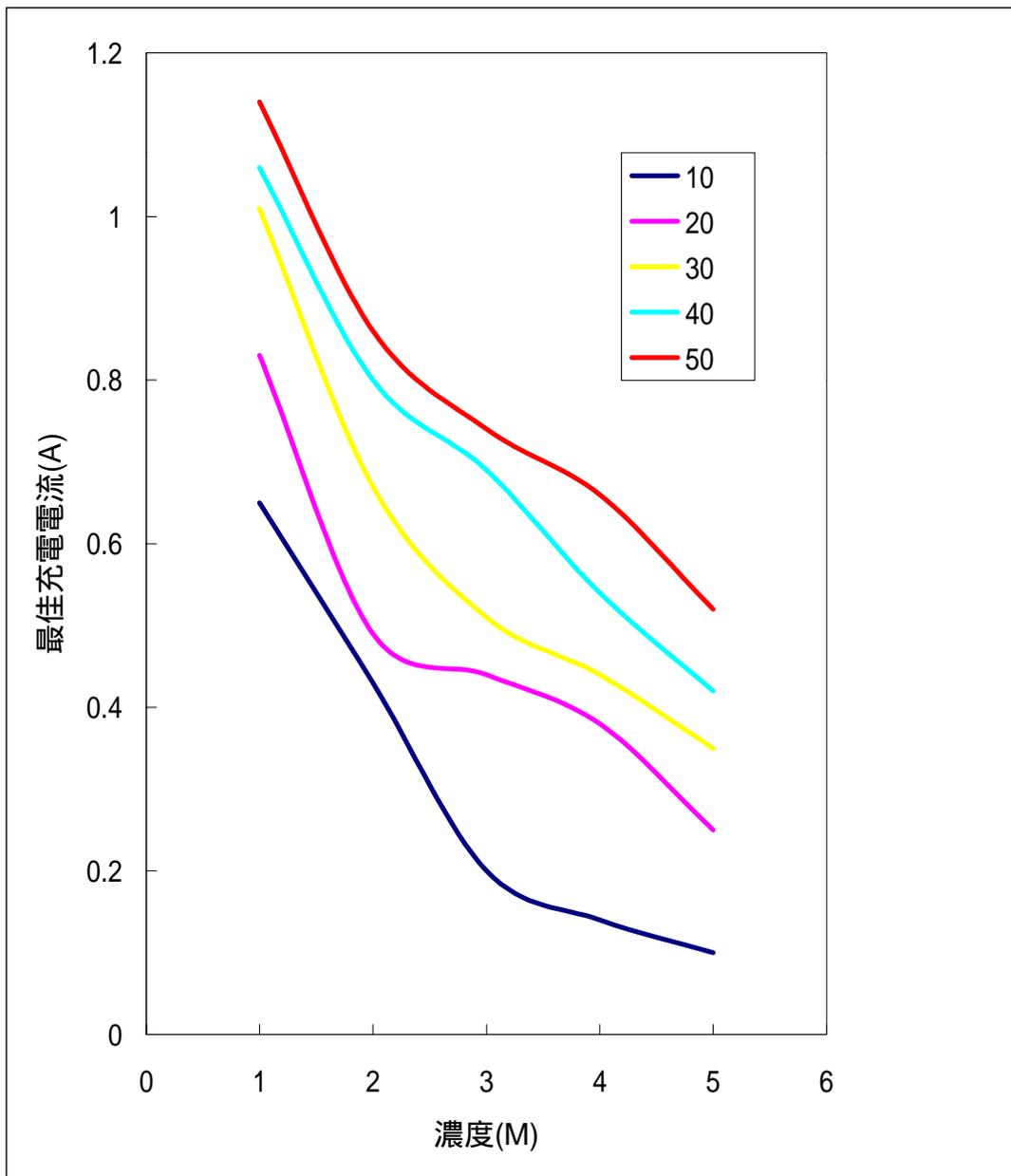
濃度	5	4	3	2	1
10	0.078	0.1	0.158	0.32	0.5
20	0.22	0.29	0.32	0.35	0.66
30	0.29	0.37	0.4	0.52	0.87
40	0.33	0.42	0.49	0.66	0.92
50	0.36	0.54	0.62	0.76	0.94



【圖 11】、各溫度下，最佳充電電流與濃度之關係（最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 12】、各溫度下，最佳充電電流與濃度之關係（最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

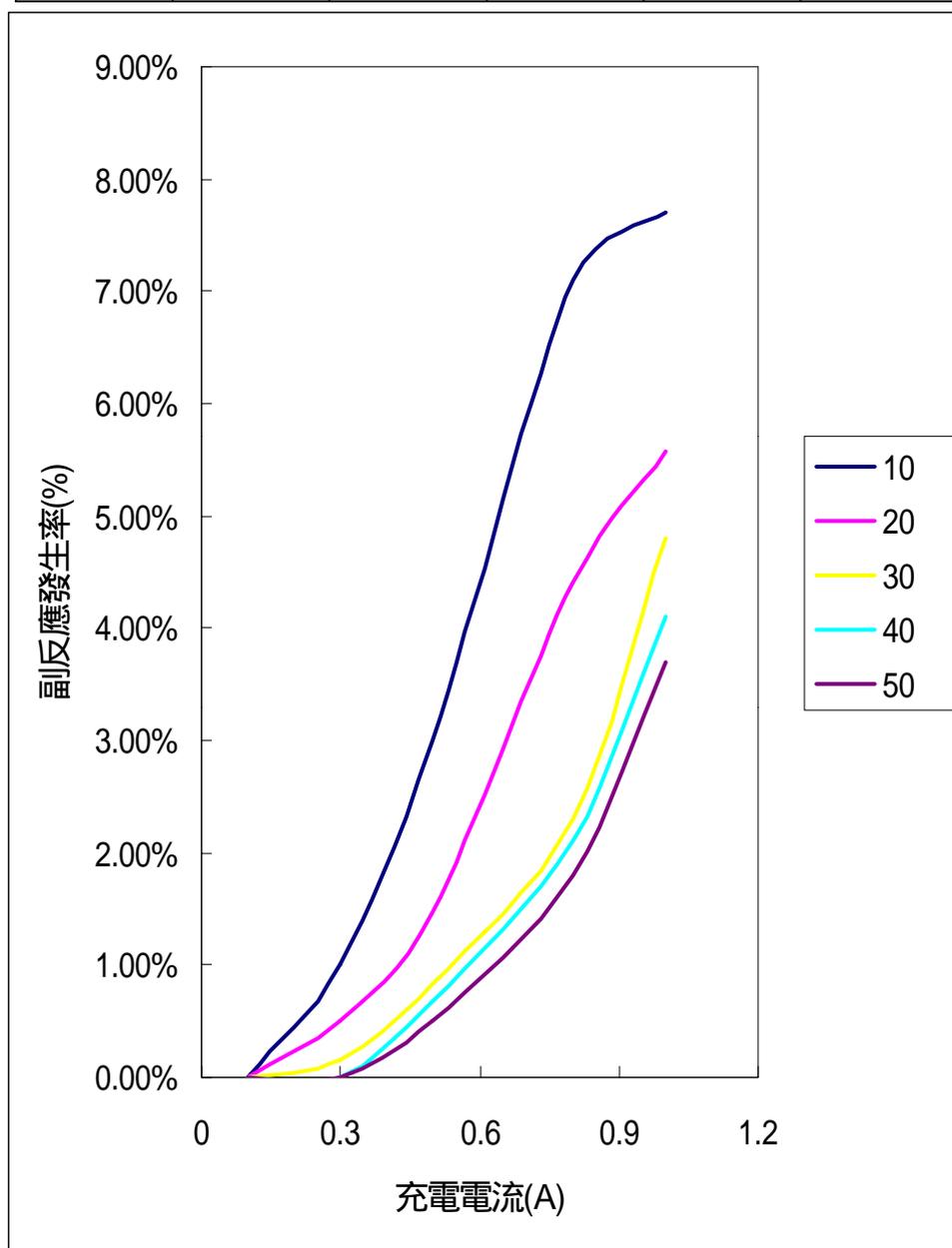
濃度	5	4	3	2	1
10	0.1	0.14	0.2	0.43	0.65
20	0.25	0.38	0.44	0.49	0.83
30	0.35	0.44	0.51	0.67	1.01
40	0.42	0.54	0.69	0.8	1.06
50	0.52	0.66	0.74	0.86	1.14



【圖 12】、各溫度下，最佳充電電流與濃度之關係（最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 13】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（1M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

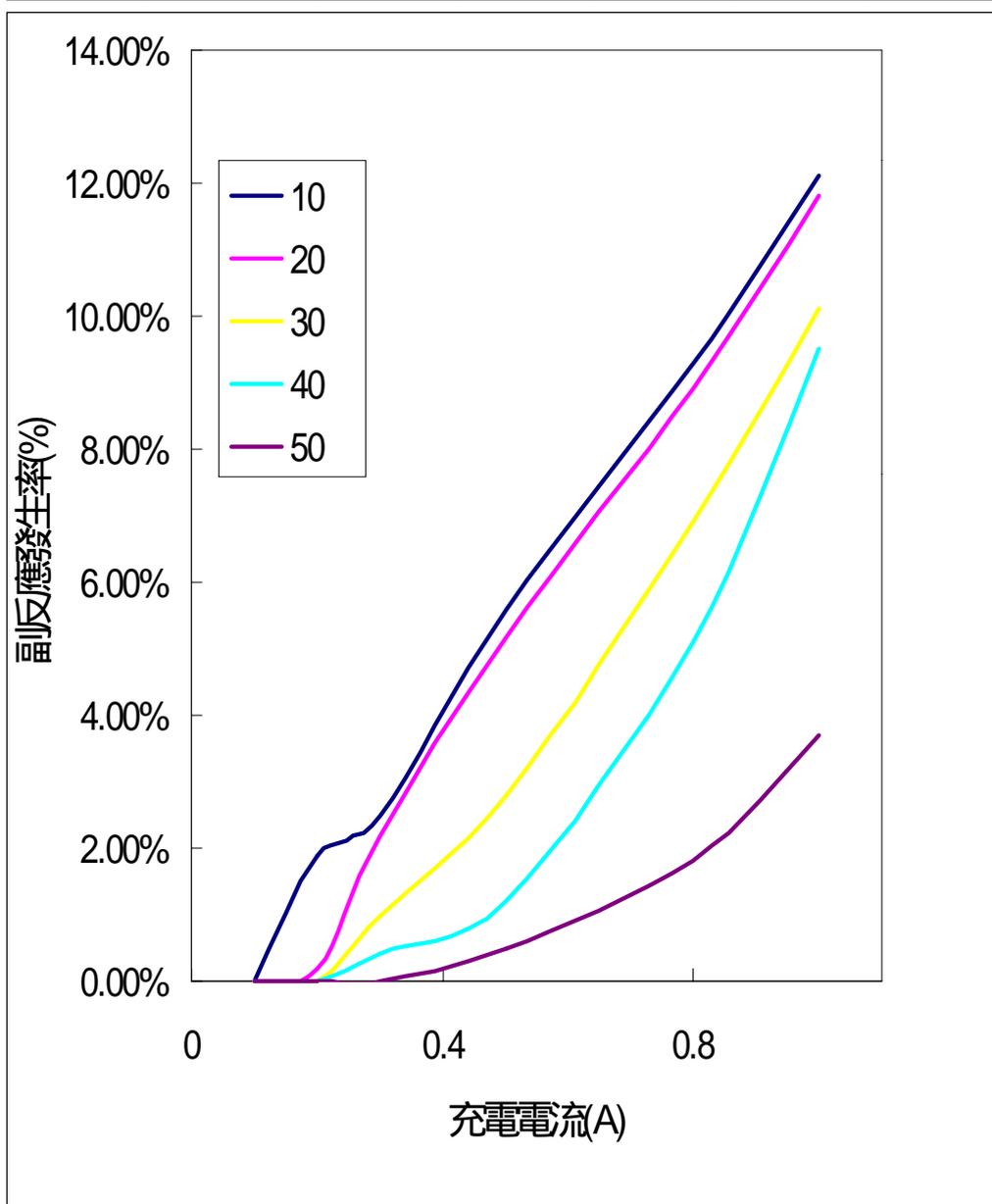
電流(A)	0.1	0.3	0.5	0.8	1
10	0.00%	1.00%	3.00%	7.10%	7.70%
20	0.00%	0.50%	1.48%	4.41%	5.57%
30	0.00%	0.15%	0.83%	2.30%	4.80%
40	0.00%	0.00%	0.68%	2.10%	4.10%
50	0.00%	0.00%	1%	1.80%	3.70%



【圖 13】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（1M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 14】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（2M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

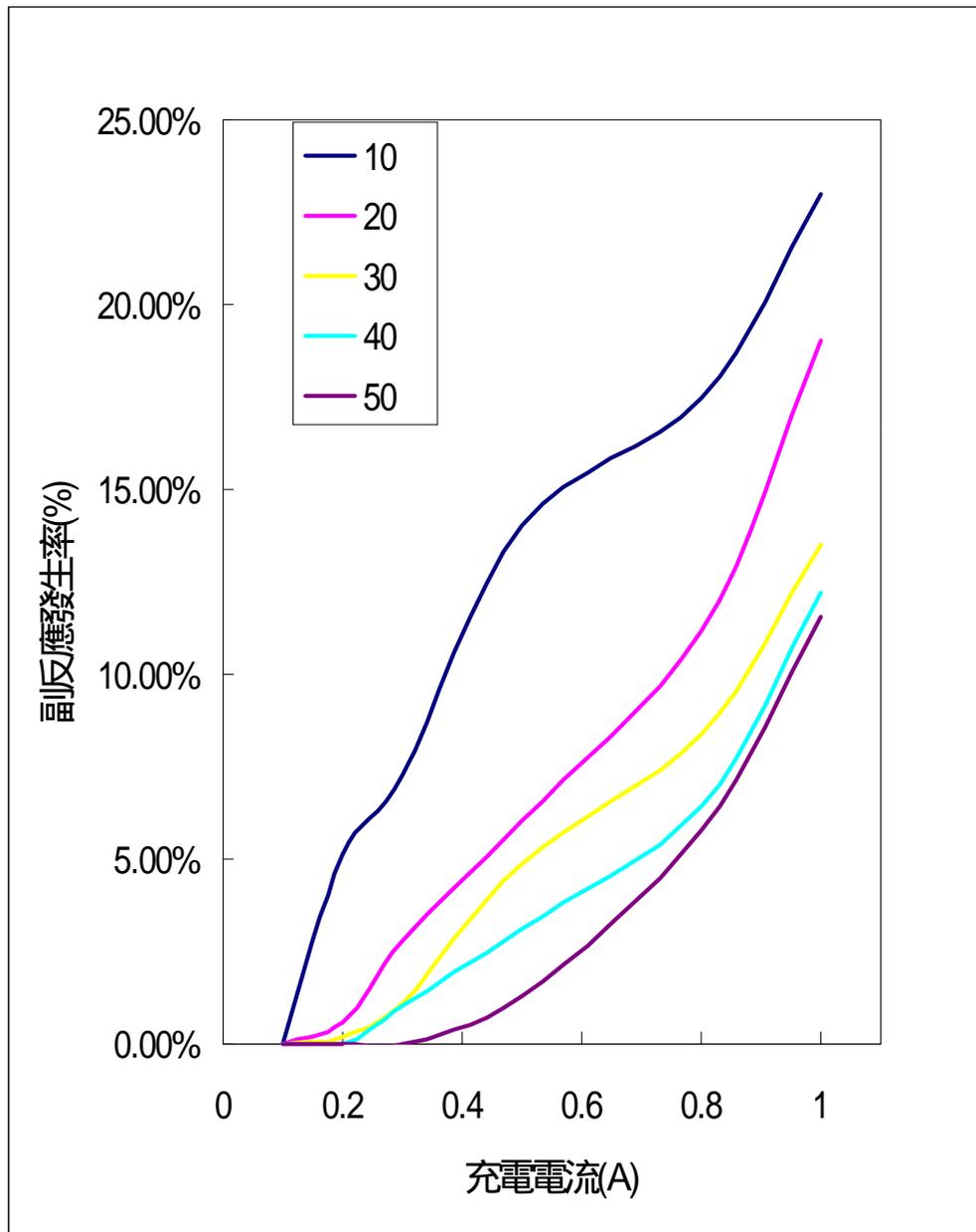
電流(A)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1
10	0.00%	1.90%	2.50%	5.60%	9.30%	12.10%
20	0.00%	0.20%	2.20%	5.18%	8.90%	11.80%
30	0.00%	0.00%	0.98%	2.80%	6.90%	10.10%
40	0.00%	0.00%	0.40%	1.20%	5.10%	9.50%
50	0.00%	0.00%	0.00%	0.50%	1.80%	3.70%



【圖 14】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（2M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 15】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（3M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

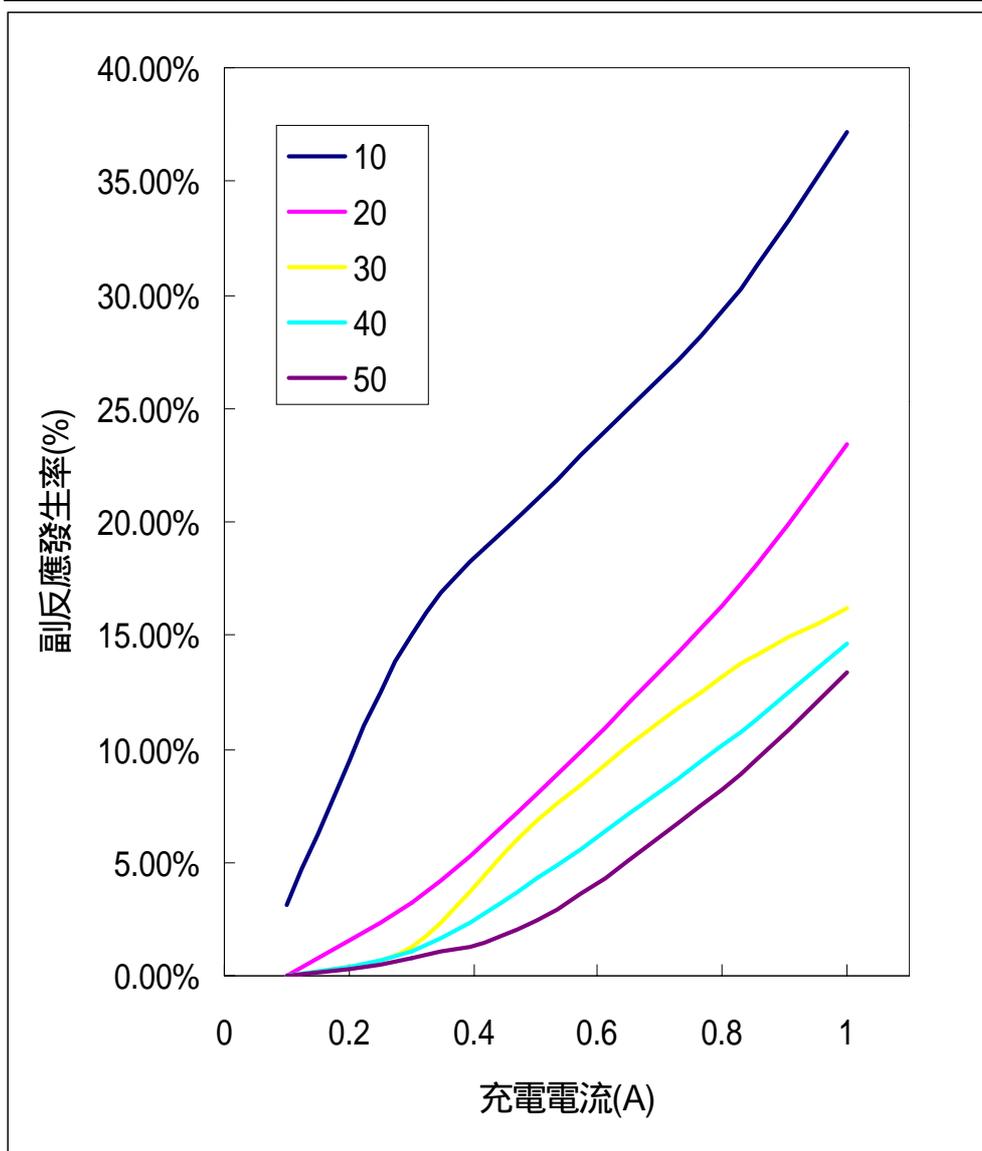
電流(A)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1
10	0.00%	5.10%	7.30%	14.00%	17.50%	23.00%
20	0.00%	0.60%	2.76%	6.04%	11.20%	19.00%
30	0.00%	0.17%	1.10%	4.90%	8.40%	13.50%
40	0.00%	0.00%	1.04%	3.10%	6.40%	12.20%
50	0.00%	0.00%	0.00%	1.30%	5.80%	11.56%



【圖 15】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（3M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 16】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（4M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

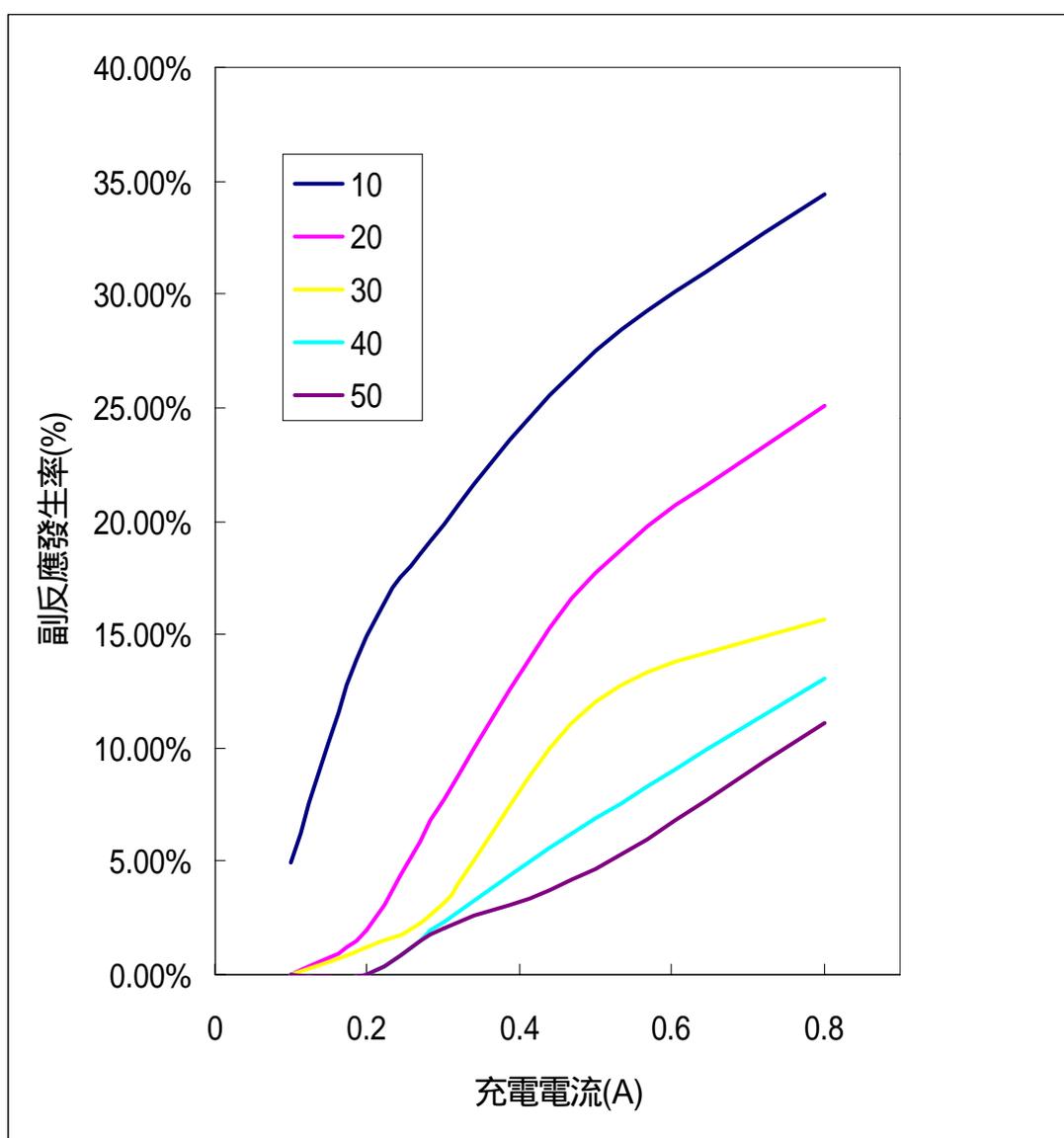
電流(A)	0.1	0.3	0.5	0.8	1
10	3.10%	15.00%	21%	29.30%	37.20%
20	0%	3.20%	8%	16.30%	23.40%
30	0%	1.30%	6.80%	13.20%	16.20%
40	0.00%	1.10%	4.30%	10.10%	14.60%
50	0.00%	0.81%	2.44%	8.20%	13.40%



【圖 16】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（4M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 17】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（4M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

電流(A)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8
10	4.90%	14.90%	19.90%	27.50%	34.40%
20	0%	2%	7.70%	17.70%	25.10%
30	0%	1.20%	3.20%	12%	15.70%
40	0%	0%	2.30%	6.90%	13.10%
50	0%	0%	2.02%	4.70%	11.10%

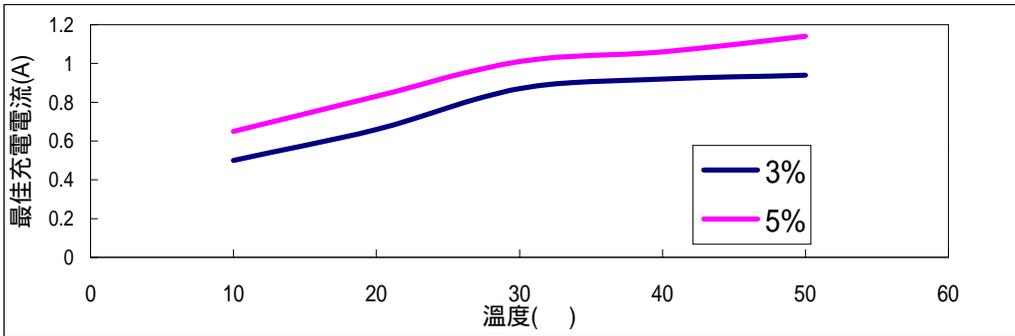


【圖 17】、各溫度下，充電電流對副反應發生率之影響（5M、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm）

【表 18】、1M 最佳充電電流與溫度之關係（最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板

面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

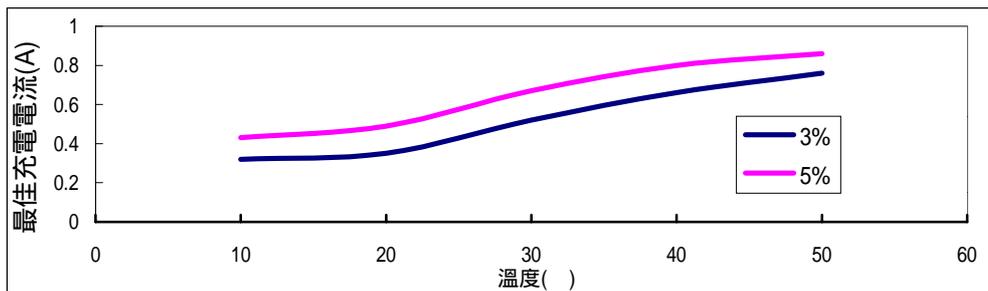
溫度	10	20	30	40	50
3%	0.5	0.66	0.87	0.92	0.94
5%	0.65	0.83	1.01	1.06	1.14



【圖 18】1M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 19】2M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

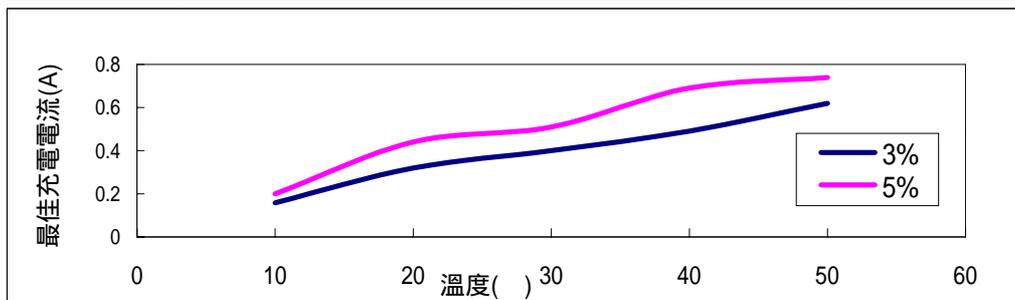
溫度	10	20	30	40	50
3%	0.32	0.35	0.52	0.66	0.76
5%	0.43	0.49	0.67	0.8	0.86



【圖 19】2M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 20】3M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

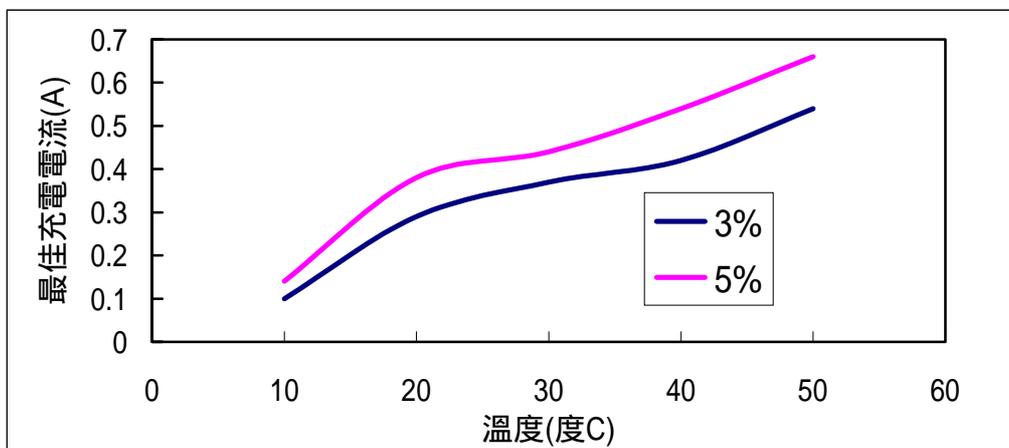
溫度	10	20	30	40	50
3%	0.158	0.32	0.4	0.49	0.62
5%	0.2	0.44	0.51	0.69	0.74



【圖 20】4M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 21】、3M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

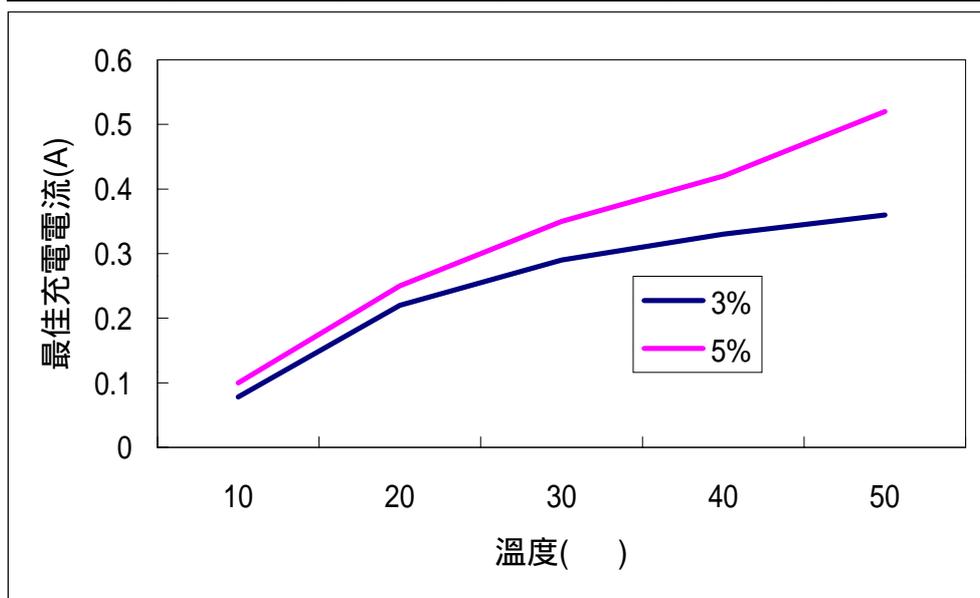
溫度	10	20	30	40	50
3%	0.1	0.29	0.37	0.42	0.54
5%	0.14	0.38	0.44	0.54	0.66



【圖 21】、4M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 22】、5M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

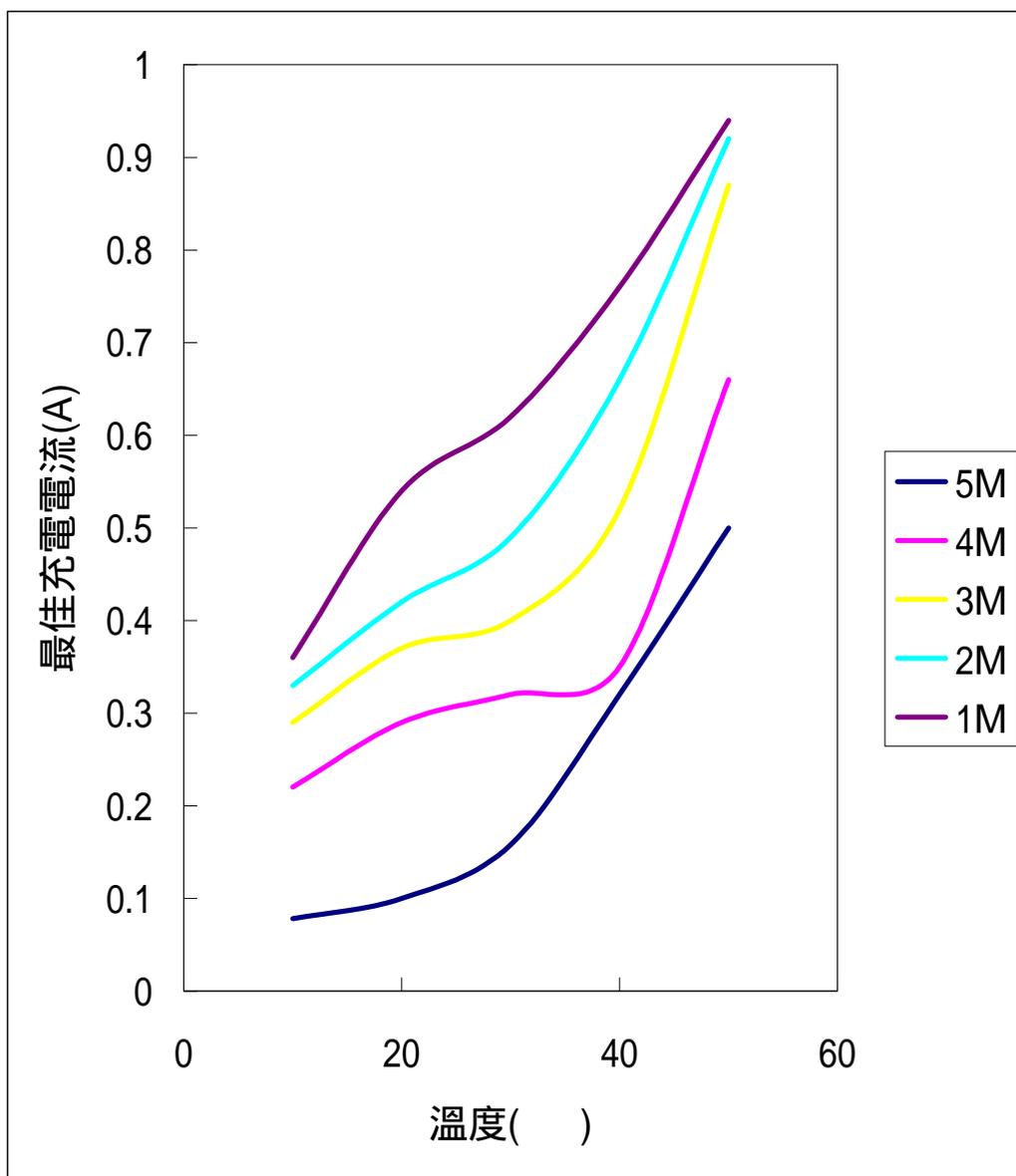
溫度	10	20	30	40	50
3%	0.078	0.22	0.29	0.33	0.36
5%	0.1	0.25	0.35	0.42	0.52



【圖 22】、5M 最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 23】、最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

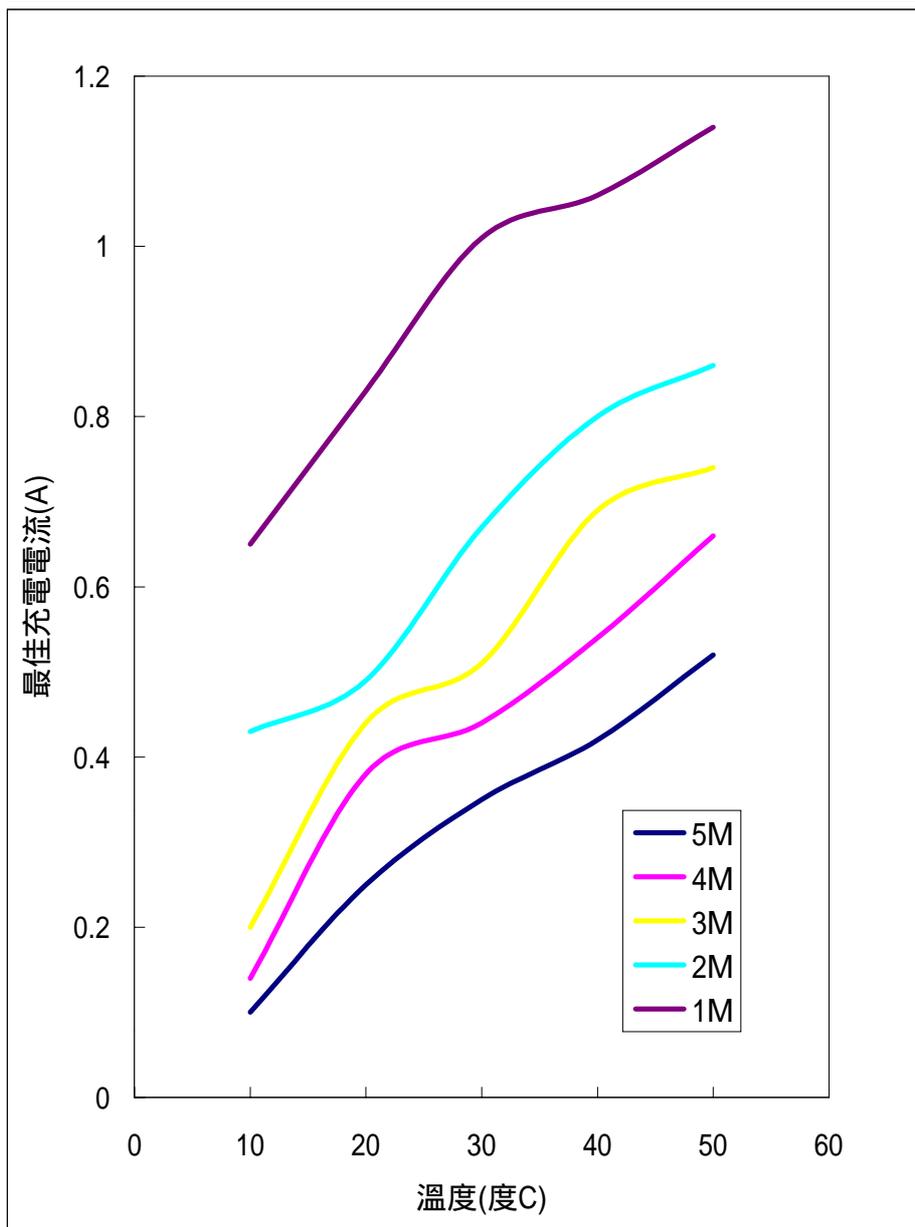
濃度	5	4	3	2	1
10	0.078	0.1	0.158	0.32	0.5
20	0.22	0.29	0.32	0.35	0.66
30	0.29	0.37	0.4	0.52	0.87
40	0.33	0.42	0.49	0.66	0.92
50	0.36	0.54	0.62	0.76	0.94



【圖 23】、最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 3%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 24】、最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

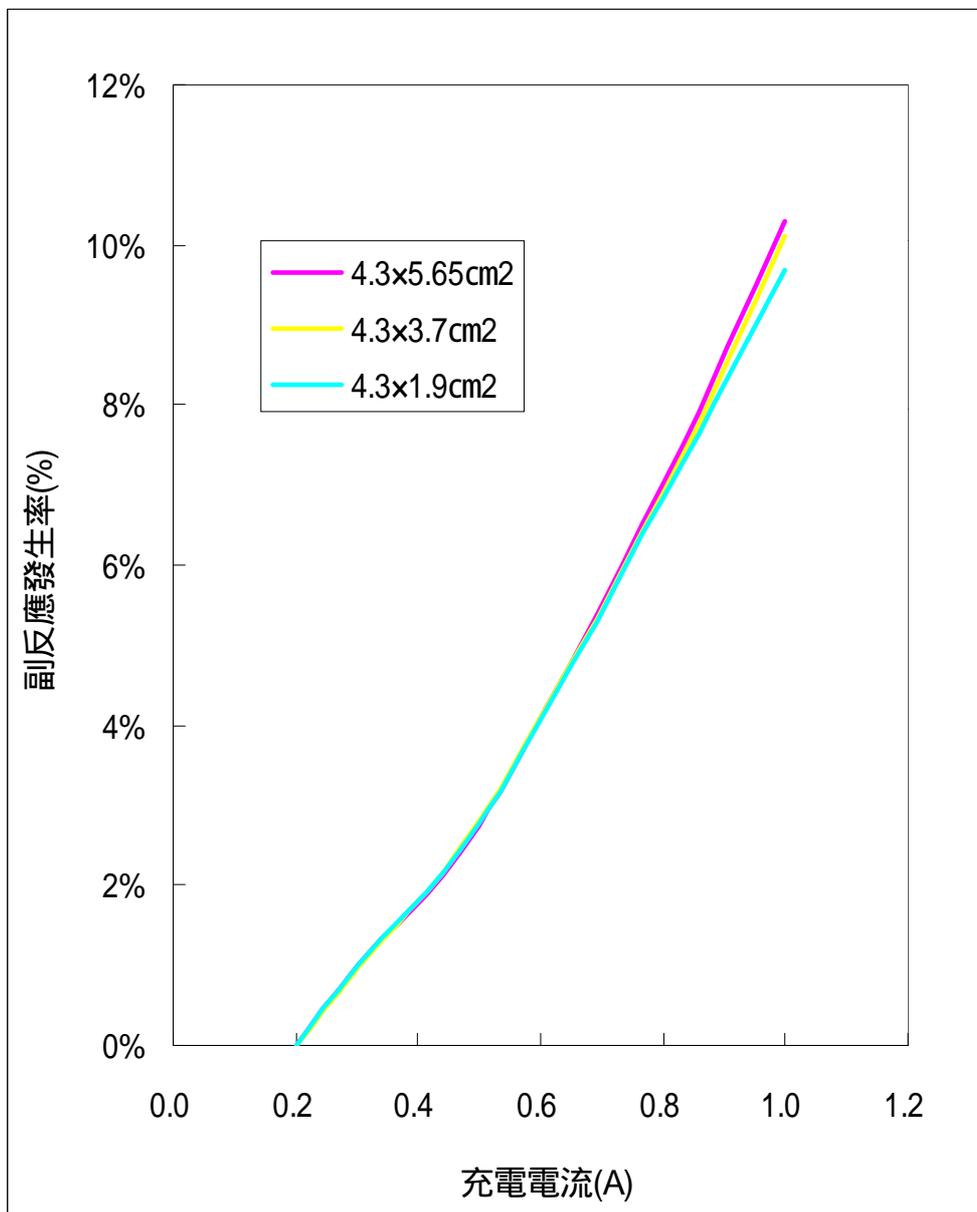
濃度	5	4	3	2	1
10	0.1	0.14	0.2	0.43	0.65
20	0.25	0.38	0.44	0.49	0.83
30	0.35	0.44	0.51	0.67	1.01
40	0.42	0.54	0.69	0.8	1.06
50	0.52	0.66	0.74	0.86	1.14



【圖 24】、最佳充電電流與溫度之關係 (最佳充電電流參考標準：副反應發生率 = 5%、極板面積 = $4.3 \times 3.7 \text{ cm}^2$ 、極板距離 = 2 cm)

【表 25】、各極板面積下，充電電流對副反應發生率之影響（2M、30、極板距離 = 2 cm）

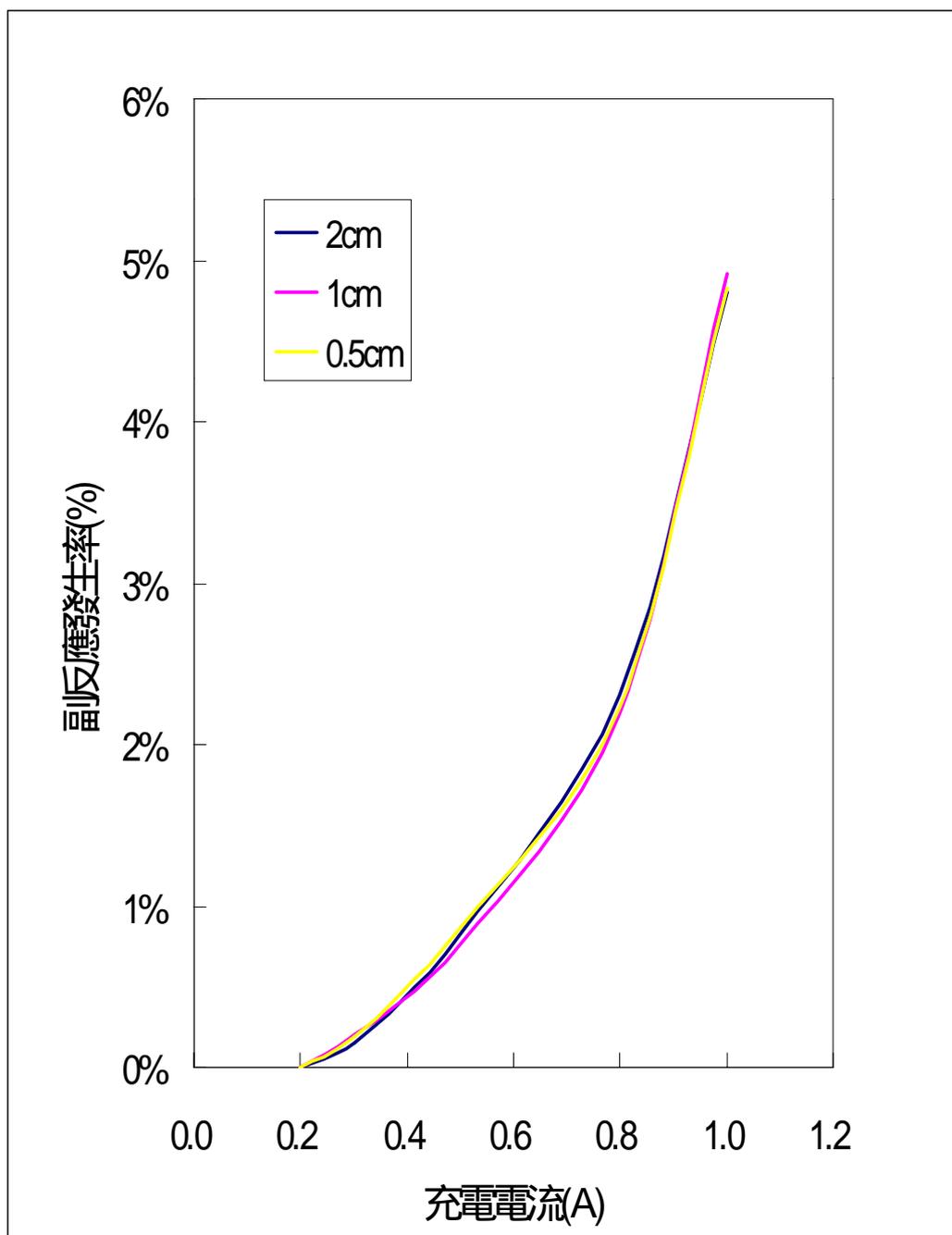
充電電流(A)	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0
4.3×5.65 cm ²	0%	1%	2.75%	7.03%	10.30%
4.3×3.7 cm ²	0%	0.98%	2.80%	6.90%	10.10%
4.3×1.9 cm ²	0%	1.02%	2.78%	6.85%	9.70%



【圖 25】、各極板面積下，充電電流對副反應發生率之影響（2M、30、極板距離 = 2 cm）

【表 26】、各極板距離下，充電電流對副反應發生率之影響（1M、30、極板面積 = 4.3×3.7 cm²）

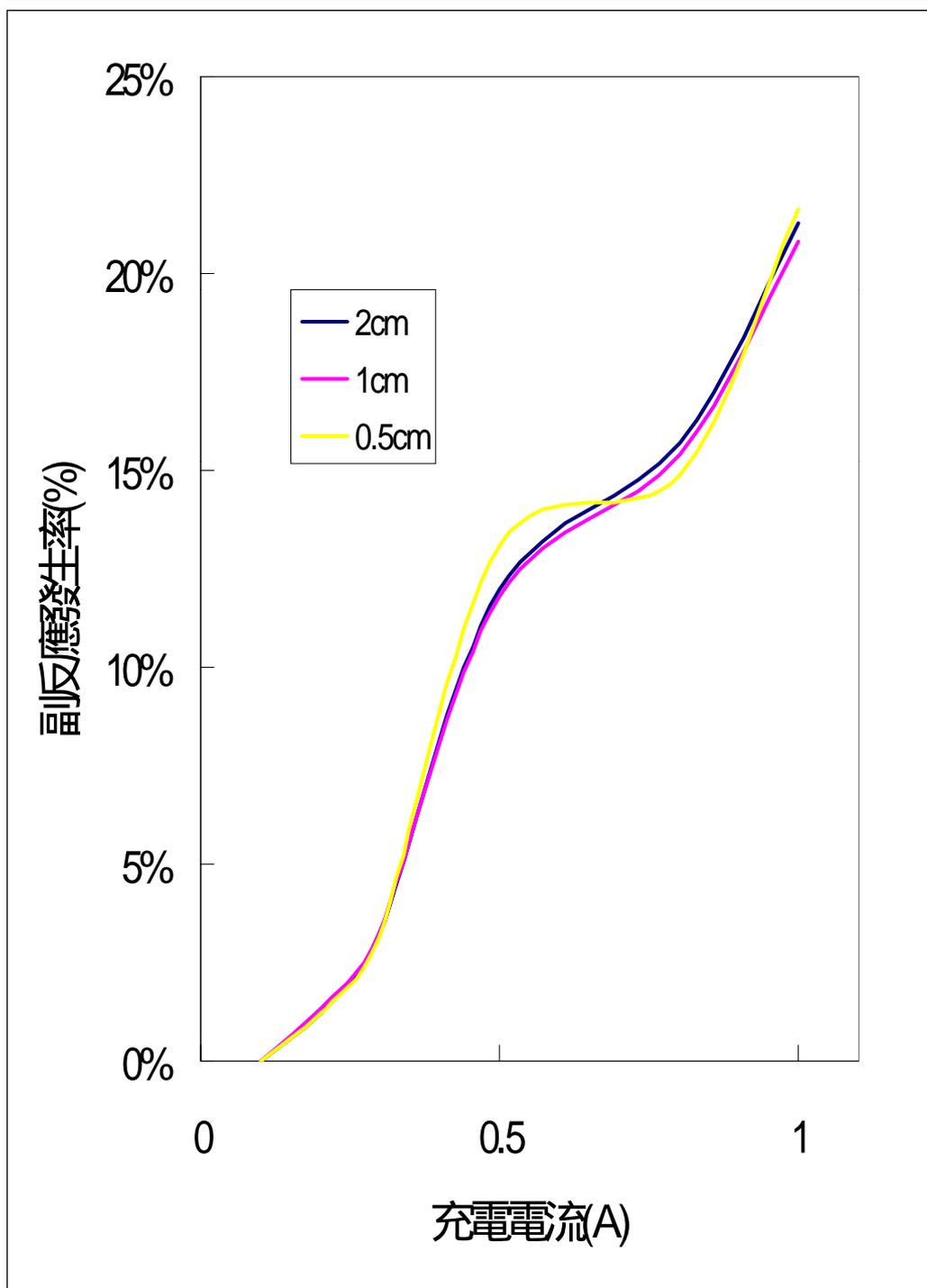
充電電流(A)	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0
2cm	0%	0.15%	0.83%	2.30%	4.80%
1cm	0%	0.20%	0.76%	2.19%	4.92%
0.5cm	0%	0.19%	0.86%	2.23%	4.83%



【圖 26】、各極板距離下，充電電流對副反應發生率之影響（1M、30、極板面積 = 4.3×3.7 cm²）

【表 27】、各極板距離下，充電電流對副反應發生率之影響（5M、30、極板面積 = 4.3×3.7 cm²）

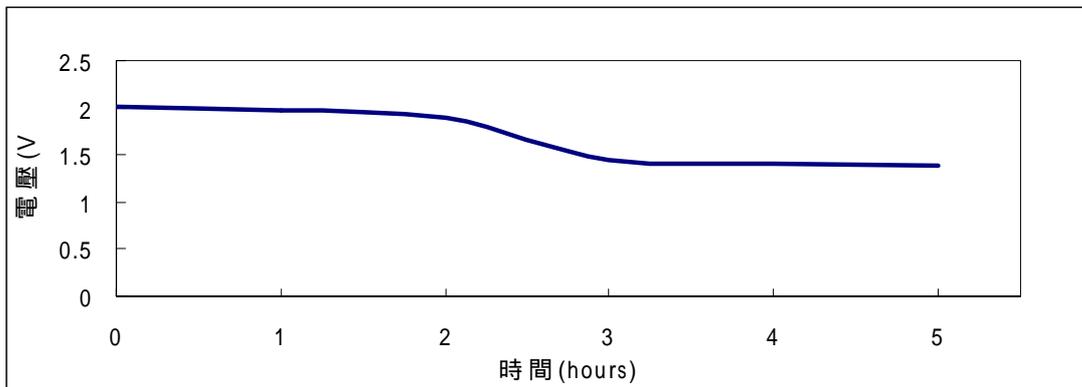
充電電流(A)	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1
2cm	0%	1.20%	3.20%	12%	15.70%	21.30%
1cm	0%	1.32%	3.25%	11.80%	15.40%	20.80%
0.5cm	0%	1.23%	3.16%	13.10%	14.90%	21.60%



【圖 27】、各極板距離下，充電電流對副反應發生率之影響（5M、30、極板面積 = 4.3×3.7 cm²）

【表 28】、充電時溫度 ()、電壓(V)之變化

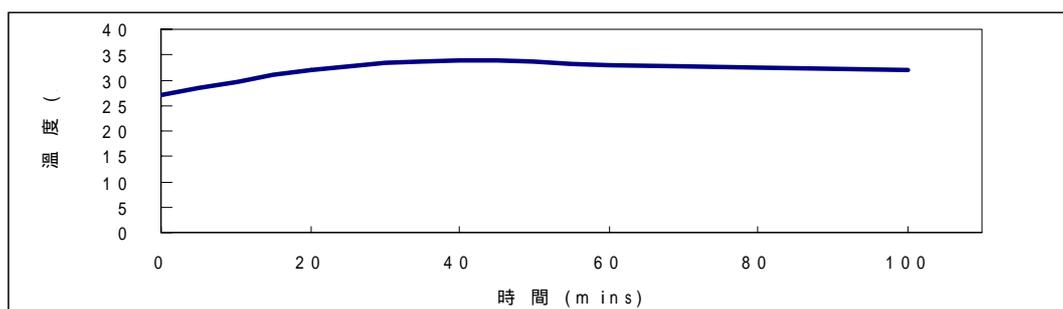
時間(hour)	0	1	2	3	4	5
電壓(V)	2.02	1.98	1.9	1.45	1.4	1.39



【圖 28】、放電電壓之變化

【表 29】、充電時溫度 ()、電壓(V)之變化

時間(分)	0	20	40	60	80	100
溫度	27	32	34	33	32.5	32



【圖 29】、充電電壓之變化

捌、討論：

(一)各濃度下，充電電流和副反應發生率之關係：

- 1、由【表 1】和【圖 1】可知，10 時各濃度下之副反應發生率均隨著充電電流之增加而增大。
- 2、相同之充電電流時，高濃度下之副反應發生率遠大於低濃度之副反應發生率。〈例〉10 時，充電電流 0.8A，1M 之副反應發生率 7.1 % 而 5M 則高達 35.5 %，由此可知高濃度時控制充電電流之重要性。
- 3、由【表】1、2、3、4、5 及【圖】1、2、3、4、5 之各溫度 (10 , 20 , 30 , 40 , 50) 下，各濃度 (1M,2M,3M,4M,5M) 之充電電流和副反應發生率之實驗得知，副反應發生率均隨電流之增加而增大，但溫度愈高副反應發生率愈小

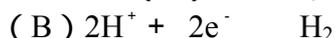
< 例 >

%	1M	5M
10	7.1%	35.5%
50	1.8%	11.15%

(充電電流 0.8A)

4、針對 1~3 之實驗結果，以粒子之模型來解釋之。

(1)濃度變化之部分。



故由上述之反應式得知，當【H₂SO₄】升高時：不利於 (A) 反應之生但利於 (B) 反應發生故副反應發生率明顯地隨濃度之增加而升高。

(2)溫度變化之部分：由勒沙特列原理得知。



而反應均為吸熱，故溫度之升高對兩反應均有利。但 (A) 為非勻相反應，(B) 為勻相反應，對 (A) 反應而言粒子大部分之反應均發生在極板之孔隙中，故粒子必順擴散限制系統 (低溫、低濃度、孔徑狹小之條件) 則 A 反應之反應速率、將隨溫度升高而有較大之增加效率，故副反應發生率 (B) 將降低。

(二)各溫度下 最佳充電電流與[H₂SO₄]之關係：

1、[表]6.7.8.9.10 與[圖]6.7.8.9.10 分別表示各溫度下，副反應發生率為 3%和 5%之最佳充電電流與溶液濃度之關係，由此實驗結果得知；各濃度下之最佳充電電流均隨濃度之增加而降低。

<例>: 濃度由 1M~5M 各濃度下之最佳充電電流變化量

2、當可容忍之副反應發生時由 3%提昇至 5%時 以攝氏 10 度 1M 之最佳充電電流為例，可由 0.5A 提昇至 0.65A，增加 30%，再縮短充電時間，此結果可設計提供，充電程序中在節省時間方面之參考。

3、【表】11、12 和【圖】11、12 之結果顯示，各濃度下高溫和低溫情形下之最佳充電電流有很大之差異，例以 1A，3% 之副反應發生而言，10 最佳充電電流 10 = 0.5A 而 50 可達 0.94 A 故在各區域甚至各季節之最佳充電程序可能都需有不同程度之調整

(三)各溫度下之充電電流和副反應發生率之關係：

1、由[表]15 和 [圖]15 得知，各溫度下之副反應發生率 均隨著充電電流增加而加大，但副反應發生比率 低溫時遠大於高溫之情形以 3M 充電電流 0.8A 為例: 攝氏 10 度.

17.5%; 攝氏 50 度 5.8%

2、由[表]13.14.15.16.17 和[圖]13.14.15.16.17. 之實驗結果得知 在各濃度下低溫之副反應發生率均高於高溫之條件

(四)各濃度下，之最佳充電電流與溫度之關係：

1、【表】18、19、20、21、22 和【圖】18、19、20、21、22 分別表示各濃度下，副反應發生率為 3% 和 5% 之最佳充電電流與溶液溫度之關係，由此實驗得知；各溫度下之最佳充電電流均隨溫度之增加而升高。

2、當可容忍之副反應發生率由 3% 提昇至 5% 時，以[H₂SO₄] = 1M 為例；各溫度下之最佳充電電流變化率如下表；亦使最佳充電電流有約 15%~30%之增加，對減少充電時間亦有貢獻但需考慮電極腐蝕之問題。

I %	10	20	30	40	50
3%~5%	30%	25.8%	16.1%	15.1%	21%

3、又【表】23、24 和【圖】23、24 之結果顯示，在各濃度下,最佳充電電流隨溫度之變化趨勢相同,圖中亦可得知 5%副反應標準之最佳充電電流在 1M 溶液中,均有較高之最佳充電電流

(五)極板面積對副反應發生率之影響：

由【表】25 和【圖】25 之實驗結果得知，各極板面積下，隨充電電流之增加，但與極板面積無關。

(六)極板距離對副反應發生率之影響：

- 1、由【表】26 和【圖】26 之實驗結果得知，各極板距離下，充電電流增加，則副反應發生率亦增加，但極板距離改變其效應並無明顯改變，故與極板距離無關。
- 2、(表) 27 和 (圖) 27 在常溫較低之濃度下，實驗得到之結果，亦與極板距離無關。

(七)最佳充電程序之模擬：

1、【限制】

- (1)、由實驗之數據假設溫度 30 。
- (2)、每對極板分配之電解液 6.7ml。
- (3)、由實驗得知電池由 1M~5M 之內電阻 $2\Omega\sim 0.8\Omega$
令其為線性變化得； $R_{內} = 2 - 1.2(M-1)/4$
- (4)、由實驗得知電壓和濃度之關係，濃度由 1M~5M 之電壓值 1V~2.02V，令其為線性變化得； $V = 1.5 + 0.52(M-1)/4$
- (5)、由實驗得知，電解液密度，令其變化為； $D = 1 + (0.24 * M / 5)$
- (6)、相對於副反應發生率 3% 之最佳充電電流 I_{op} 與濃度之關係：
當濃度小於、等於 2M； $I_{op} = [0.87 - (0.35 * (M-1)) / 1]$
當濃度大於 2M； $I_{op} = [0.52 - (0.23 * (M-2)) / 3]$
- (7)、當【H₂SO₄】恢復至 5M 時，為電池之充電終點。
- (8)、充電起始【H₂SO₄】 = 1M。
- (9)、一般充電程序無副反應發生率。

2、一般充電方式之模擬：

- (1)、輸入起初濃度 M_0 和計算前進時間間隔 t ，充電外加電壓 V
- (2)、因為 $I_i = V / R_{內} = V - (1.37 + 0.13M) / (2.3 - 0.3M)$
- (3)、令充電時間 t ，故 $Q_i = I_i \cdot t$ ，得通過電子之莫耳數 = Q_i / F
- (4)、由充電反應式知：
 $2PbSO_4 + 2H_2O \rightarrow Pb + PbO_2 + 2H_2SO_4$ 推得充電生成之：H₂SO₄ mole = $n_{e^-} = Q_i / F$
- (5)、故因充電而生成之【H₂SO₄】變化量： $M_i = 1000Q_i / 6.7F \quad (M)$
- (6)、(a)此時之溶液濃度 $M = M_0 + M_i$
(b)經過的次數 $i = 1 \sim n$
(c)經過的時間 $t = i \cdot t$
(d)通入電池之有效電量 $Q_t = Q_i$
- (7)、如果 $M < 5(M)$ 則 $i = i + 1$ 重覆(2)~(6)之步驟
如果 $M \geq 5(M)$ 則充電時間 $t = it$ 則 充入總電量 $Q_t = Q_i$
- (8)、計算結果 $M_0 = 1M$ ， $t = 1000$ 秒，外加電壓 $V = 2.1(V)$ ：

定壓充電 [充電電壓=2.1 (V) 起始濃度=1.0 (M)]

充電電壓 (V)	電流 (A)	電池電壓 (V)	電解液濃度 (M)	時間(s)	電量 (c)
2.10	0.29	1.55	1.41	1000	295.88
2.10	0.26	1.69	2.43	4000	1129.38
2.10	0.23	1.79	3.22	7000	1875.88
2.10	0.20	1.87	3.84	10000	2528.70
2.10	0.17	1.93	4.32	13000	3083.43
2.10	0.16	1.95	4.45	14000	3246.31
2.10	0.14	1.98	4.68	16000	3539.50
2.10	0.11	2.01	4.95	19000	3901.28
2.10	0.10	2.02	5.00	19600	3963.07

故得充電總耗時秒 19600 5.44 小時 有效充入電量 = 3963.07 (c)

3、副反應發生率 3% 相對之最佳充電程序：

- (1)、由圖 11 依 1M 至 5M 最佳充電電流 0.8A 至 0.3A 之線性變化，來為描述最佳充電電流與濃度之關係得知
 M 小於、等於 2M ; $I_{op}=0.87-(0.35*(M-1))/1$
 M 大於 2M ; $I_{op}=0.52-(0.23*(M-2))/3$
- (2)、 t 時間內通入之電量 $Q_i = I_i \quad t$
 故通入之電子 $n_{e^-} = I_{opi} \times t / 96500 \quad (\text{mole})$
- (3)、使產生 H_2SO_4 之 $\text{mole} = 0.97 n_{e^-}$
- (4)、密度 $D=1+(0.24*M/5)$
- (5)、(a) 溶液體積 = $(V*D+80*\text{mol})/D$
 (b) $M=0.97 n_{e^-} / [(V*D+80*\text{mol})/D]$
- (6)、(a) 經過次數 $i = 1 \sim n$
 (b) 經過的時間 $t = i \quad t$
 (c) 通入電池之有效電量 $Q_t = 0.97 \quad Q_i$
- (7)、如果 $M < (5)$ 則 $i = i + 1$ 重覆 (2) ~ (5) 之步驟
 如果 $M \geq 5$ 則充電時間 $t = i \quad t$
 充入總電量 $Q_t = \quad Q_i$ 即為所求
- (8)、最佳充電程序 $M_0 = 1M$ 、 $t = 500$ 秒：

最佳充電 [副反應發生率:3% 起始濃度:1M]

充電電壓 (V)	電池電壓(V)	電解液濃度 (M)	充電時間(秒)	電量 (c)
2.87	1.57	1.52	500	379.89
2.45	1.69	2.48	2000	1175.32
2.41	1.73	2.74	2500	1405.22
2.39	1.76	2.97	3000	1626.06
2.36	1.78	3.19	3500	1838.54
2.34	1.81	3.39	4000	2043.23
2.33	1.83	3.57	4500	2240.69
2.31	1.86	3.75	5000	2431.36
2.28	1.92	4.22	6500	2966.74
2.27	1.94	4.36	7000	3134.12
2.27	1.94	4.37	7050	3150.58
2.27	1.95	4.49	7500	3296.46
2.26	2.00	4.85	9000	3755.73
2.25	2.01	4.95	9500	3900.29
2.25	2.02	5.01	9750	3971.09

故得充電總耗時 9750 秒 2.7 小時

有效充入電量 = 3971.09 (c)

4、副反應發生率 5% 相對之最佳充電程序：

- (1)、由圖 12 依 1M 至 5M 最佳充電電流 0.3A 至 1A 之線性變化，來為描述最佳充電電流與濃度之關係得知
 M 小於、等於 2.5M ; $I_{op}=1.01-(0.42*(M-1))/1.5$
 M 大於 2.5M ; $I_{op}=0.59-(0.24*(M-2.5))/2.5$
- (2)、 t 時間內通入之電量 $Q_i = I_i \quad t$, 故通入之電子 $n_{e^-} = I_{opi} \times t / 96500 \quad (\text{mole})$
- (3)、使產生 H_2SO_4 之 $\text{mole} = 0.95 n_{e^-}$
- (4)、密度 $D=1+(0.24*M/5)$
- (5)、(a) 溶液體積 = $(V*D+80*\text{mol})/D$ (b) $M=0.95 n_{e^-} / [(V*D+80*\text{mol})/D]$

- (6)、(a) 經過次數 $i = 1 \sim n$ (b) 經過的時間 $t = i \cdot t$
(c) 通入電池之有效電量 $Q_t = 0.95 \cdot Q_i$
- (7)、如果 $M < (5)$ 則 $i = i + 1$ 重覆 (2) ~ (5) 之步驟
如果 $M \geq 5$ 則充電時間 $t = i \cdot t$, 充入總電量 $Q_t = \sum Q_i$ 即為所求
- (8)、最佳充電程序 $M_0 = 1M$ 、 $t = 500$ 秒：

最佳充電 [副反應發生率:5% 起始濃度:1M]

充電電壓 (V)	電池電壓 (V)	電解液濃度 (M)	充電時間(秒)	電量 (c)
3.14	1.58	1.60	500	441.93
2.85	1.64	2.06	1000	812.82
2.48	1.79	3.27	3000	1921.25
2.42	1.85	3.71	4000	2391.84
2.37	1.90	4.10	5000	2824.59
2.35	1.93	4.27	5500	3028.43
2.34	1.95	4.43	6000	3224.65
2.33	1.97	4.58	6500	3413.74
2.32	1.98	4.72	7000	3596.12
2.30	2.02	4.98	8000	3942.29
2.30	2.02	5.01	8100	3975.62

故得充電總耗時 8100 秒=2.25 小時 有效充入電量 = 3975.62 (c)

玖、結論：

1、電池充電時，影響副反應發生率的因素有：

- (1)溫度：溫度高，副反應發生率小。(濃度和充電電流一定時)
- (2)濃度：濃度高，副反應發生率大。(溫度和充電電流一定時)
- (3)充電電流：充電電流愈大，副反應發生率愈高(溫度和濃度一定時)
- (4)副反應發生率與極板距離和極板面積無關。

2、影響最佳充電電流之因素有：

- (1)副反應發生率之標準：容忍之副反應發生率愈高,則最佳充電電流愈大。
- (2)溫度：溫度愈高,最佳充電電流愈大。
- (3)濃度：濃度愈高,最佳充電電流愈小。

3 一般充電程序和最佳充電程序之比較:依最佳充電程序充電,確可以減少充電時程一半時間,對於減少充電時間,恢復電池供電有很大之助益。

拾、未來展望：

本研究著墨於最佳充電程序之研究,依實驗所得之數據,來計算最佳充電和一般充電之差異。由本研究確可得知以最佳充電模式之充電之優勢,期望本研究獲得更精確之預測結果,尚有待下列之努力：

- (1)更精確而實驗數據,得知最佳充電電流與各操作條件之關係。
- (2)系統簡化時使用更精確之函數來模擬。
- (3)電腦程式之輔助期待未來在這三方面著手,可以完成—可預測更多操作條件之最佳充電程序模擬。並將變壓充電之概念,應用於充電器材上,縮短充電時間。

拾壹、參考資料：

- 1、高中化學 舊版 第二冊 第八章 氧化還原
- 2、單元操作 質量傳送(三) 科學技術叢書 葉和明著

評語

040810 高中組生活與應用科學科 佳作

鉛酸電池之最佳充電電流與快速充電之研究

探討鉛酸電池的各種操作條件對二項電池充電時副反應發生率發生的影響，並以之設計出快速充電的模式，具明確的學理基礎並有實用價值。