

# 何種變因影響溶液導電性的大小

## 高中組物理第二名

臺灣省立屏東高級中學

作者：洪三山·方博仁

指導老師：花 新 春

### 一、研究動機：

(一)在高中物理實驗課本中“溶液中離子電荷測定”的實驗中，我們發現電壓一定的情况下，電流強度隨時間的增加而減小；但溶液的溫度却逐漸升高，使我們聯想到溶液的導電性應與那些因素有關？

(二)在學習歐姆定律時，引起對“溶液導電時，是否可視為歐姆式導體”，亦即歐姆定律能否適用於導電溶液中。

### 二、研究目的：

(一)探討何種變因會影響溶液的導電性，以作為進一步研究的基礎。

(二)求出溫度變化、濃度變化時，某些特定溶液中所通過電流強度為溫度或濃度之函數的關係式，並求出影響此類結果的物理常數。

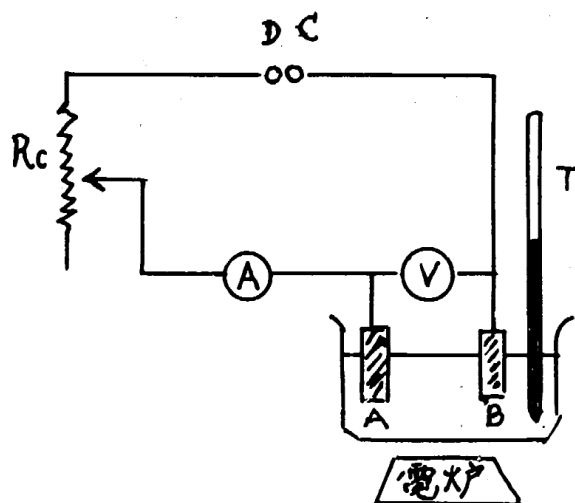
(三)推求電解槽中溶液導電時，在何種條件下，可視為與金屬導線有相類似的性質。

### 三、儀器與裝置：

(一)藥品：醋酸溶液（0.4%，0.8%，2%），氫氧化銨（1%

) 溶液。

(一) 裝置：如下圖



1 A, B 為兩銅質極板，且置於電解槽中。與 0~18 伏特直流電源供應器串聯成一迴路。

2 —(A)— 為安培計，—(V)— 為伏特計，T 為溫度計。

#### 四、實驗步驟：

(一) 電流強度與溫度及溶液濃度的關係：

1 取特定濃度 (0.4%) 之醋酸溶液，維持板極距離與板極面積不變。在特定的電壓 (5 伏特) 下，測定溫度自 80°C 降至 5°C 之間，其電流隨溫度變化的情形。

2 改變溶液的濃度，重複實驗，並由電流~溫度關係圖找出曲線的特性，如圖(一)。

(二) 電流強度與溶液濃度的關係：

1 維持一定大小的板極面積、板極距離與溫度，使用 8 伏特電壓，分別測定 0.2%, 0.5%, 1.0%, 1.2%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, 3%, 3.5%, 4.0% 的醋酸溶液通過電流強度，並作濃度與電流強度的關係。

2 改變電壓重複實驗，並找出曲線的特性 (作  $I^2 \sim$  濃度的關係圖)。

(三) 電流強度(I)與電壓(V)的關係：

1. 取 0.2% 的醋酸溶液置於電解槽中，調節適當的板極距離，與浸在溶液中的板極面積，維持溫度、濃度、板極距離及板極面積不變，測定電流如何隨電壓改變。
2. 改變板極面積 A，重複上述實驗步驟。
3. 作電流～電壓之關係圖，檢驗  $V = IR$  是否成立。

(四) 電流與板極面積關係：

1. 在溫度與濃度一定之下，取特定之電壓值，測定板極面積與電流的關係。
2. 改變電壓，重複上述實驗，並作電流～板極面積關係圖。

(五) 電流與板極距離關係：

1. 在溫度、濃度及板極面積均不變的條件下，取各種特定的電壓值，測定板極距離與電流的關係。
2. 改變電壓值，重複上述實驗，作電流與板極距離關係圖。
3. 找出在何種範圍內，電流與板極距離成反比。

(六) 電壓與溫度變化的關係：

1. 取特定的濃度之醋酸溶液，調節適當的板極距離與面積，維持一定電流強度（15 毫安培）之下，測定電壓與溫度變化的關係。
2. 改變溶液濃度，重複上述實驗，並作溫度與電壓倒數的關係圖。
3. 尋找曲線的特性。

五、實驗數據：

(一) 表一：電流強度(I)與溫度(T)的關係。

溶液：醋酸、板極電壓：5 伏特、板極距離：7 厘米、板極面積： $5 \times 1.8 \text{ cm}^2$ 。

1 濃度：0.4%

T (°C)	8.5	15.5	23.0	30.0	37.0	44.0	49.0	58.0	66.0	74.5
I (毫安培)	7.1	8.0	9.5	11.2	12.1	13.6	14.8	16.2	18.1	20.5

2 濃度：0.8%

T (°C)	6.2	14.3	21.5	31.0	38.5	48.0	53.0	60.0	72.0	79.0
I (毫安培)	7.9	9.1	10.5	13.0	14.7	16.8	18.2	20.0	23.0	25.1

3 濃度：2.0%

T (°C)	7.0	13.0	19.5	26.0	33.0	41.0	50.0	58.0	68.0	76.0
I (毫安培)	10.0	11.4	13.0	14.8	16.9	18.8	20.1	22.1	24.5	27.0

4 濃度：1.0% NH<sub>4</sub>OH

T (°C)	7.0	13.5	20.0	26.0	33.0	43.0	51.5	58.0	69.0	77.0
I (毫安培)	9.1	11.1	13.0	14.6	16.0	19.1	20.2	22.8	25.0	27.5

(二)表二：電流强度(I)與溶液濃度的關係。

溶液：醋酸，溫度：17°C，兩極板距離：7 cm，板極面積：  
5 × 1.8 cm<sup>2</sup>

1 表二～a：電流强度與濃度的關係：

濃度 V \ I	0.2 %	0.5 %	0.8 %	1.0 %	1.2 %	1.5 %	2.0 %	2.5 %	3.0 %	3.5 %	4.0 %
5 伏特	5.6 毫安	8.0	9.8	11.0	12.0	13.5	15.0	15.7	16.2	17.0	17.8
6	6.4	9.8	11.2	13.0	14.0	15.7	17.0	18.2	19.0	19.9	20.8
7	7.8	11.3	13.5	15.2	16.7	18.5	20.0	21.7	22.5	24.1	26.1
8	8.9	13.1	15.5	17.8	19.0	21.0	22.9	24.8	26.2	27.1	29.9

2 表二～ b :  $I^3$  與濃度成正比關係 :

濃度 V I <sup>3</sup>	0.2%	0.5%	0.8%	1.0%	1.2%	1.5%	2.0%	2.5%	3.0%	3.5%	4.0%
5 伏特	176	512	941	1331	1728	2461	3375	3870	4253	4913	5643
6	262	941	1406	2197	2744	3870	4913	6024	6860	8000	9000
7	475	1446	2461	3511	4660	6327	8000	10220	11610	14000	17780
8	705	2248	3724	5640	6860	9261	12009	15253	17985	19903	26731

(三)表三：電流強度(I)與電壓(V)的關係：

溶液：醋酸，濃度：2%，溫度：17℃，板極距離：5 cm。

V A I	2伏特	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14
4cm <sup>2</sup> 3.2 毫安	4.2	5.3	7.0	8.1	10	11.9	13.6	15.2	18.9	22.2	
6	5.8	8.0	11.0	14.0	16.7	20.0	23.8	27.2	30.5	37.0	43.7
8	8.7	11.2	14.6	18.8	22.0	26.0	30.8	35.2	39.0	47.5	—
10	15.5	20.0	25.0	30.0	35.0	41.0	46.8	—	—	—	—

(四)表四：電流(I)與板極面積(A)的關係：

V I 毫安 A cm <sup>2</sup>	1.0×1.8	2.0×1.8	3.0×1.8	4.0×1.8	5.0×1.8	6.0×1.8
5 伏特	5.6	8.0	11.0	13.1	16.5	17.8
8	9.1	13.8	17.3	22.2	27.0	29.0
10	12.0	17.5	22.1	28.5	34.2	37.0
15	23.0	27.5	34.0	44.5	—	—

(五)表五：電流強度(I)與板極距離(d)的關係：

溶液：醋酸，濃度：1%，溫度：17℃，板極面積：3×3.4cm<sup>2</sup>

$\begin{matrix} d(cm) \\ V \\ I(ma) \\ (Volt) \end{matrix}$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3	8.0	7.0	6.1	5.4	5.0	4.9	4.6	4.2	4.1	4.0	4.0	4.0
4	12.8	10.4	9.0	8.0	7.4	7.0	6.5	6.0	5.9	5.8	5.3	5.0
5	16.0	13.2	11.8	10.4	9.7	8.9	8.2	7.9	7.3	7.0	6.9	6.8
6	20.0	17.0	14.9	13.2	12.1	11.1	10.5	10.0	9.4	9.0	8.5	8.1
7	24.9	20.9	18.0	16.1	14.8	13.8	12.9	12.0	11.2	10.9	10.1	9.9
8	30.0	24.9	21.7	19.2	17.8	16.3	15.2	14.7	13.8	13.0	12.5	12.0
9	35.0	28.9	25.9	22.9	20.8	19.0	17.8	16.9	15.9	15.0	14.4	14.0
10	40.0	33.8	29.0	26.0	23.5	22.0	20.8	19.9	18.8	17.8	17.0	16.1

(六)表六：電壓(V)與溫度(T)的關係：

1 溶液：醋酸，電流強度：15毫安培，極板距離：7cm

極板面積：5×1.8cm<sup>2</sup>。

(1)濃度：0.4%

T ( °C )	5.5	15.5	23.0	30.0	37.0	44.0	49.0	57.5	66.0	74.0
V ( Volt )	10.2	8.4	7.4	6.4	6.1	5.6	5.2	4.5	4.2	3.7
$\frac{1}{V} (\times 10^{-2} \text{ Volt}^{-1})$	9.8	11.9	12.5	15.6	16.4	17.9	19.2	22.2	23.8	27.0

(2)濃度：0.8%

T ( °C )	6.2	14.3	21.5	31.0	38.5	48.0	53.0	60.0	72.0	79
V ( Volt )	8.7	6.7	6.7	5.8	5.1	4.5	4.3	3.9	3.5	3.2
$\frac{1}{V} (\times 10^{-2} \text{ Volt}^{-1})$	11.5	14.9	14.9	17.2	19.6	22.2	23.3	25.6	18.6	30.8

(3)濃度：2.0%

T ( °C )	7.0	13.0	19.5	26.0	33.0	41.0	50.0	58.0	67.2	73.0
V ( Volt )	7.1	6.4	6.0	5.1	4.6	4.1	3.8	3.5	3.2	3.0
$\frac{1}{V}(\times 10^{-2} \text{ Volt}^{-1})$	14.1	15.6	16.7	19.6	20.4	24.4	26.3	28.6	31.3	33.4

2. 溶液：NH<sub>4</sub>OH，板極距離：7 cm，板極面積：5 × 1.8 cm<sup>2</sup>

電流強度：15 m.a.。

濃度：1%

T ( °C )	7.0	13.5	20.0	26.0	33.0	42.0	51.0	58.0	69.0	77.0
V ( Volt )	7.4	6.6	5.8	5.4	4.8	4.2	4.0	3.7	3.3	3.0
$\frac{1}{V}(\times 10^{-2} \text{ Volt}^{-1})$	13.5	15.2	17.2	18.5	20.8	23.8	25.0	27.0	30.3	33.3

## 六、分析：

(一)分析一（參閱圖(一)）

1. 由記錄（表一）可作出電流強度與溶液的溫度之函數關係如圖(一)（參閱附錄中之圖(一)）。

2. 由圖(一)可發現不同濃度、不同溶液，其直線斜率相同，則此斜率必代表某一物理常數。

3. 斜率的大小： $a_1 = 0.2172$  毫安培 / °C。

4. 電流(I)與溫度(T)的函數關係式為：

$$I = 0.2172 T + 4.684 \quad (N = 0.4\%)$$

$$I = 0.2172 T + 5.830 \quad (N = 0.8\%)$$

$$I = 0.2172 T + 9.153 \quad (N = 2.0\%)$$

$$I = 0.2172 T + 8.656 \quad (N = 1.0\%) \quad (\text{氫氧化銨})$$

5. 當溫度為0°C時，電流並不為零。

6. 若將上列諸式寫成  $I = a_1 T + b_1$ ，則常數  $b_1$  為濃度的效應。

即電流越大，濃度越大。

(二)分析二：(參閱圖(二))

1. 由記錄(表二)所作出的電流強度與濃度的函數關係圖可得一公式如下：

$$I^3 = a_2 N + b_2 \quad N \text{ 表百分濃度, } I \text{ 表電流強度}$$

$$a_2 = 5816 \text{ (毫安培)}^3$$

$$b_2 = 537 \text{ (毫安培)}^3$$

$$\text{代入得 } I^3 = 5816N + 537 \quad (\text{電壓 } V = 8 \text{ Volt 時})$$

2. 同理：

$$V = 7 \text{ 伏特時, } I^3 = 4473N + 960$$

$$V = 6 \text{ 伏特時, } I^3 = 2058N + 797$$

$$V = 5 \text{ 伏特時, } I^3 = 1390N + 83$$

3. 由以上諸式可知：

(a) 電壓越大，斜率越大。

(b) 濃度為零時，電流不為零。

(三)分析三：(參閱圖(三))

1. 由記錄(表三)所作出的電流強度與兩極板間電壓之函數圖形為一斜直線。

即電流強度與電壓成正比。

2. 故知  $V = IR$  適用於此種情況。

(四)分析四：(參閱圖(四))

1. 記錄可看出，當板極面積(A)在  $5 \times 1.8 \text{ cm}^2$  以下，且板極電位差在 10 伏特以下時，電流強度與板極面積成正比。

(五)分析五：〔參閱圖(五)〕

1. 在距離小於 6 cm 時，由圖(五)看出電流強度與距離約成反比。

2. 當距離不大時，兩極板之間電場可視為均勻電場，故有  $E =$

$\frac{V}{d}$ ，在電壓為定值時，電場 E 與板極距離 d 成反比。故電流

強度(I)亦與距離成反比。



(六)分析六：〔參閱圖(六)]

1 由圖(六)看出  $\frac{1}{V}$  與溫度  $T$  之間有線性關係。

2 不同濃度、不同溶液之下，諸直線具有相同斜率，此斜率為

$$a_3 = 0.2757 \times 10^{-2} \text{ (伏特 } ^\circ\text{C)}^{-1}$$

3 各濃度之下， $\frac{1}{V}$  與  $T$  的數學函數關係式：

$$\frac{1}{V} = 0.2757 \times 10^{-2} T + 7.16 \times 10^{-2} \text{ (0.4\% 醋酸)}$$

$$\frac{1}{V} = 0.2757 \times 10^{-2} T + 8.97 \times 10^{-2} \text{ (0.8\% 醋酸)}$$

$$\frac{1}{V} = 0.2757 \times 10^{-2} T + 12.52 \times 10^{-2} \text{ (2.0\% 醋酸)}$$

$$\frac{1}{V} = 0.2757 \times 10^{-2} T + 11.48 \times 10^{-2} \text{ (1.0\% 氫氧化銨)}$$

4 由  $V = IR$ ，得  $\frac{1}{R} = I \times \frac{1}{V}$ 。

令  $I = 15$  毫安培，代入可得：

$$\frac{1}{R} = 0.0413 \times 10^{-3} T + 1.074 \times 10^{-3} \text{ (0.4\% 醋酸)}$$

$$\frac{1}{R} = 0.0413 \times 10^{-3} T + 1.346 \times 10^{-3} \text{ (0.8\% 醋酸)}$$

$$\frac{1}{R} = 0.0413 \times 10^{-3} T + 1.878 \times 10^{-3} \text{ (2.0\% 醋酸)}$$

$$\frac{1}{R} = 0.0413 \times 10^{-3} T + 1.722 \times 10^{-3} \text{ (1.0\% } \text{NH}_4\text{OH)}$$

由上列諸式知：溫度越高，溶液的導電度越大。

5 若將上列諸式寫成  $\frac{1}{R} = a_4 T + b_4$ ，則常數  $b_4$  代表濃度的效應。

即濃度越大， $b_4$  越大。

## 七、討論：

(一)由以上實驗推論出：稀薄溶液導電時，溶液濃度越大，導電性越佳。有如下關係式：

$$I^3 = aN + b,$$

式中  $I$  為電流強度， $N$  為濃度， $a$  與電壓有關。

(二)溶液導電時，在一定的濃度之下，導電性隨溫度升高而升高，且成線性關係，

$$\frac{1}{R} = a_4 T + b_4,$$

式中  $R$  為電阻， $T$  為溫度，常數  $b_4$  為濃度因素。

(三)公式  $\frac{1}{R} = a_4 T + b_4$  表明溫度越高，溶液的電阻越小，此與金屬導線之情形不同（金屬導線的電阻隨溫度增高而增大）。

(四)在板極距離小於  $6\text{ cm}$  時，且電壓小於  $10$  伏特，板極面積小於  $5 \times 1.8\text{ cm}^2$  時，電流強度與板極距離  $d$  成反比。與板極面積  $A$  成正比。

(五)若將上述關係與歐姆定律  $V = IR$  合併，則可得  $R \propto \frac{d}{A}$ ，可寫

成  $R = \rho \frac{d}{A}$ ，式中常數  $\rho$  為電阻率，此結果與金屬導線中情形非常相似。

令  $\frac{1}{\rho}$  為溶液的導電率，則得  $\frac{1}{\rho} = \frac{d}{A} (a_4 T + b_4)$

此式說明溶液的導電率與溫度成線性關係，溫度越高，溶液導電率越大。

## 八、結論：

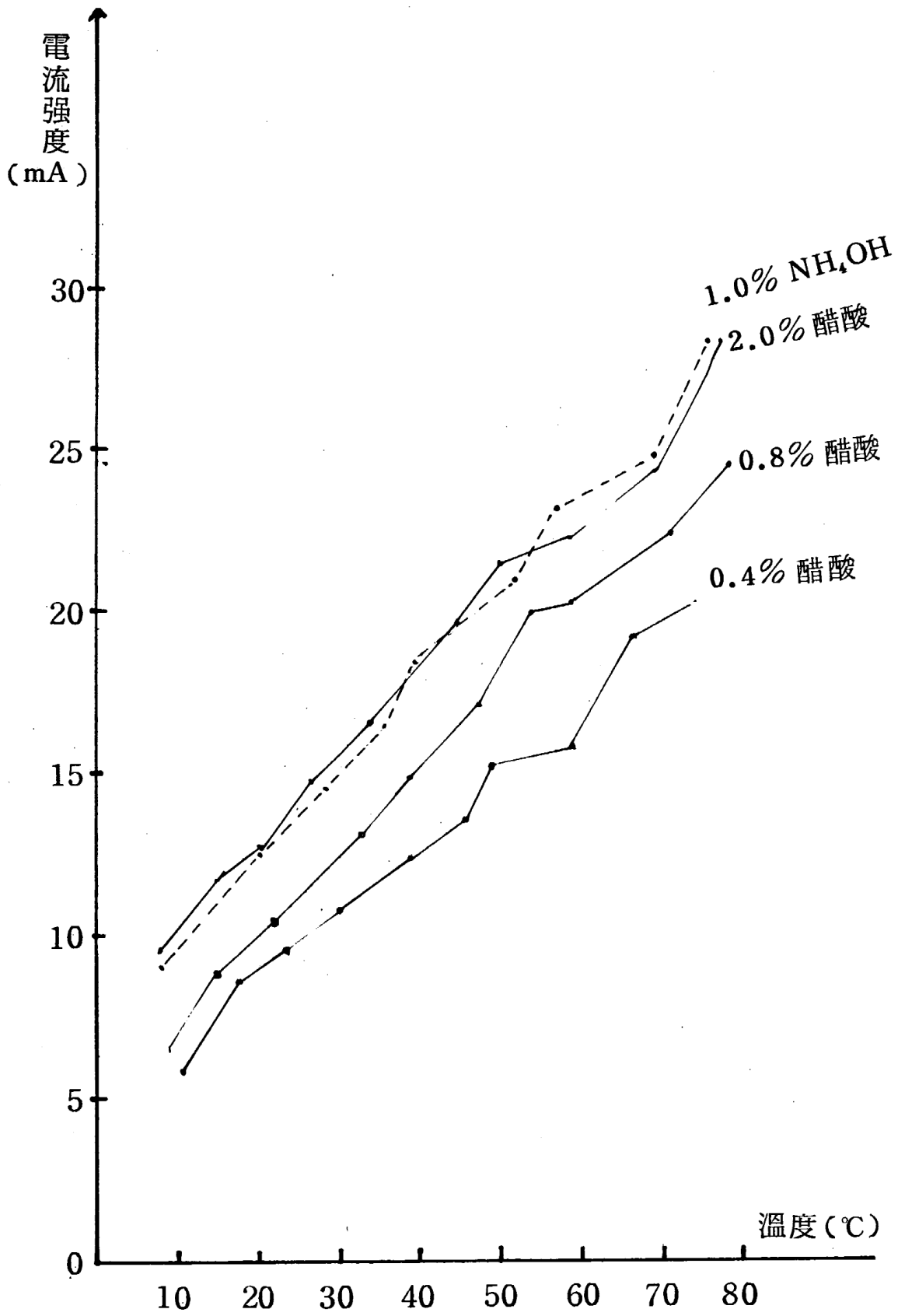
(一)由以上之討論，可以推論出為何在“溶液中離子電荷測定”的實驗中，電壓保持一定時，電流強度隨時間而減小。我們已知影響此項電流的變因有溫度與濃度，且此兩因素互相消長。實驗中，因濃度漸漸減小（稀硫酸與銅片板極反應生成硫酸銅）

，雖然溫度漸增，但前者的效應大於後者，故電流強度隨時間的增長而漸減。

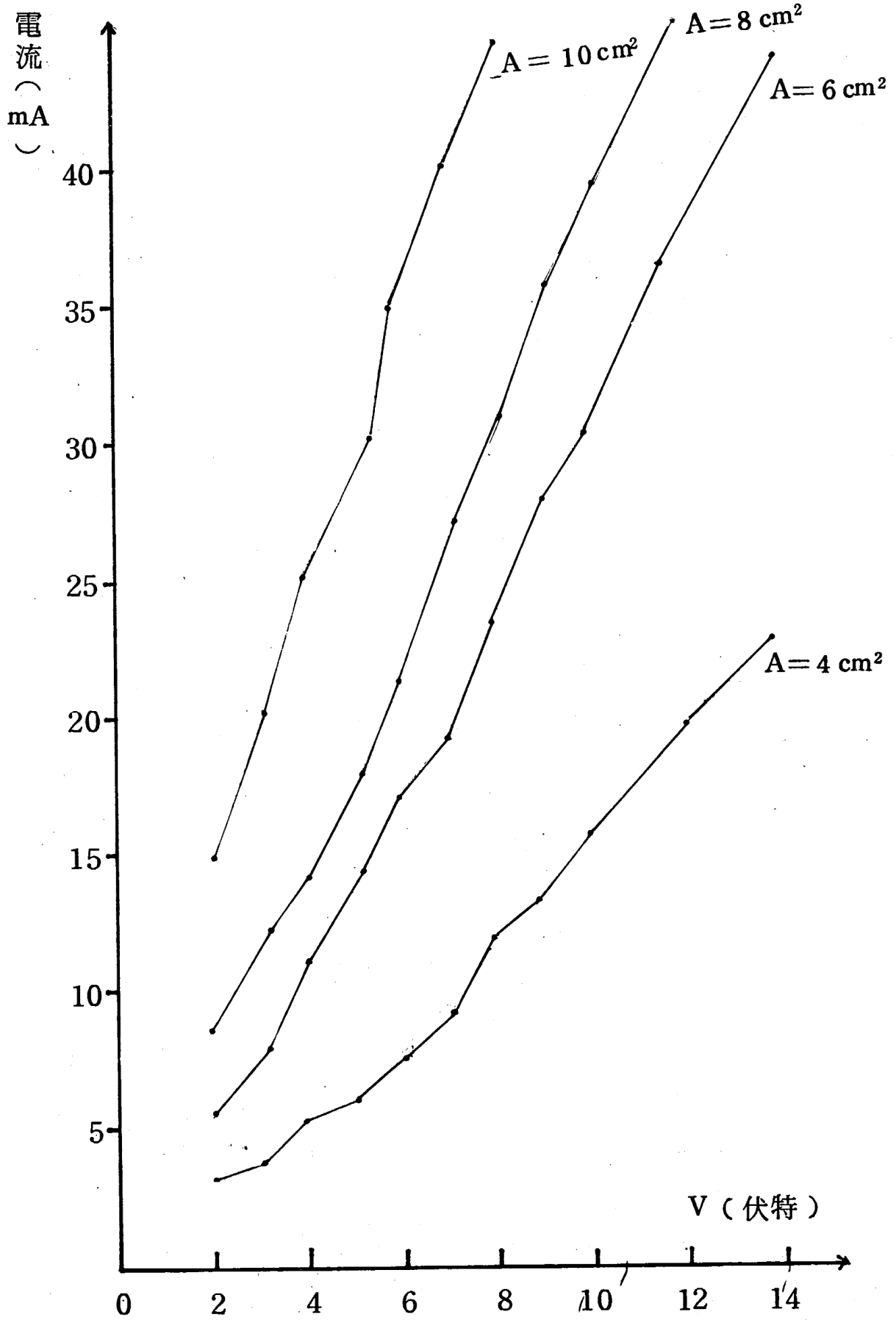
(二)於圖(一)及圖(六)中，發現 $\text{NH}_4\text{OH}$  之直線斜率與其他三者之斜率幾乎相同。

此說明不同溶液、不同濃度下， $I \sim T$  圖或  $\frac{1}{V} \sim T$  圖的斜率仍然相同，則吾人推論此斜率必代表某一物理常數。

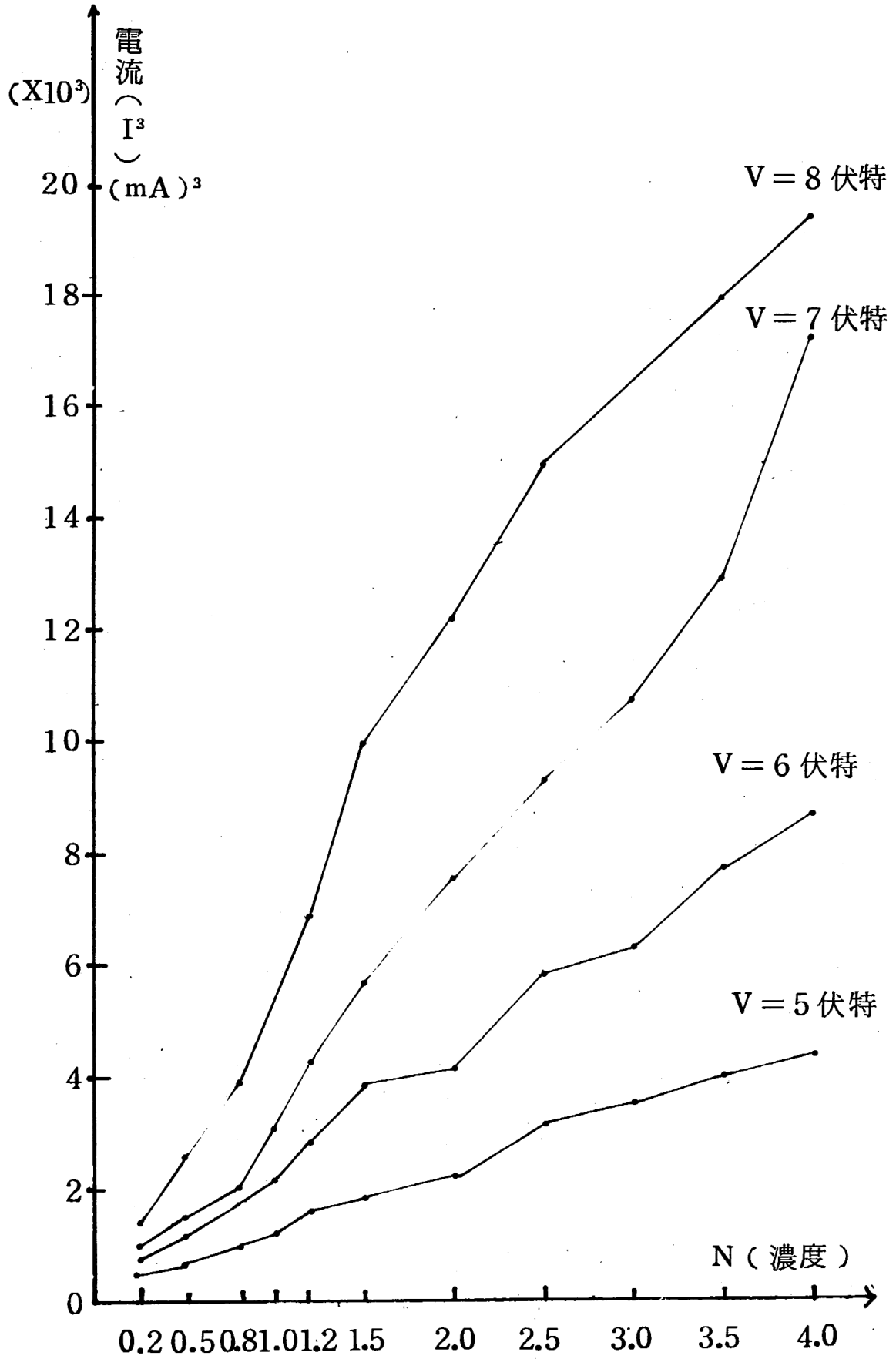
圖(一) 電流强度與溫度的關係



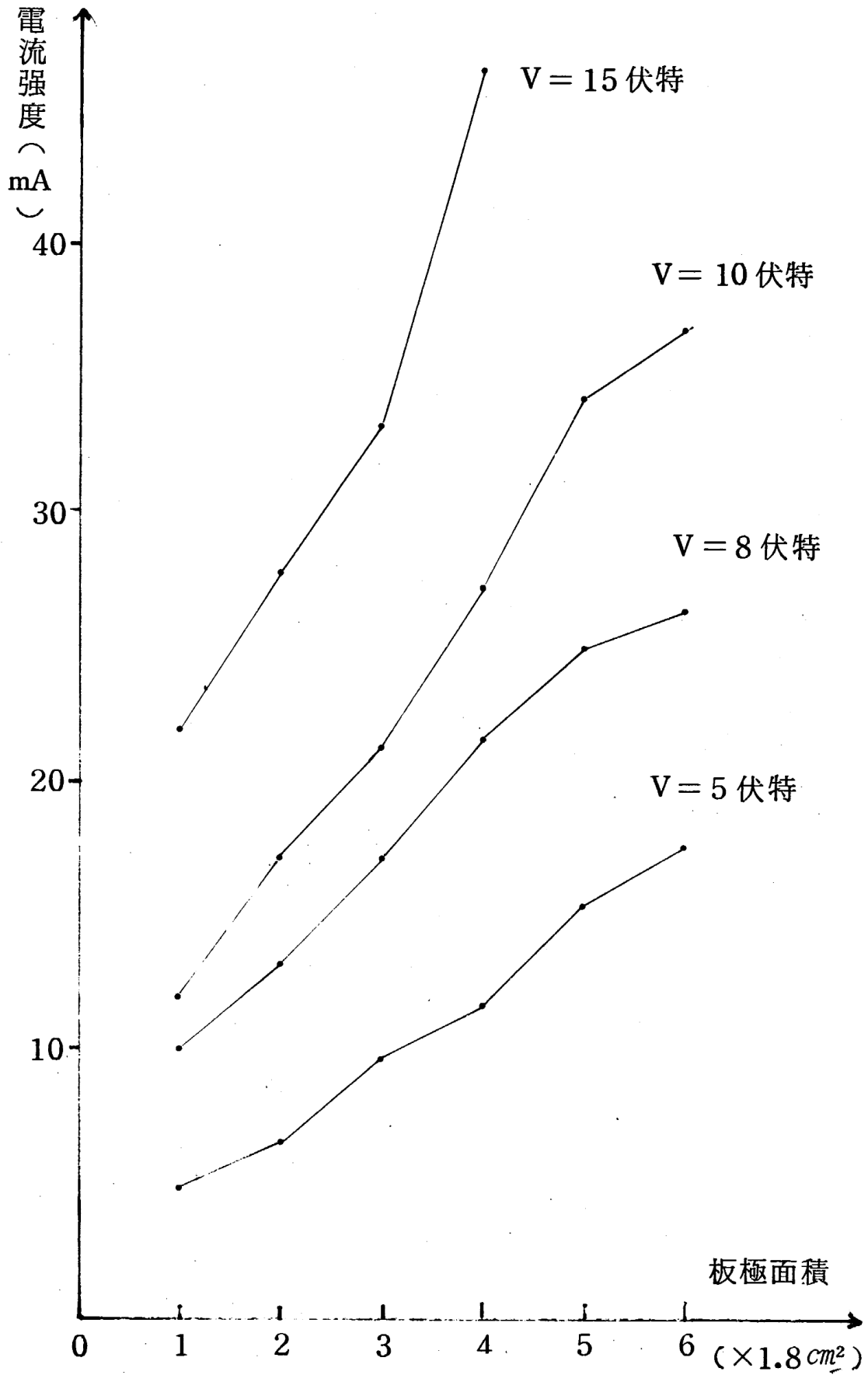
圖(三) 電流強度與電壓的關係



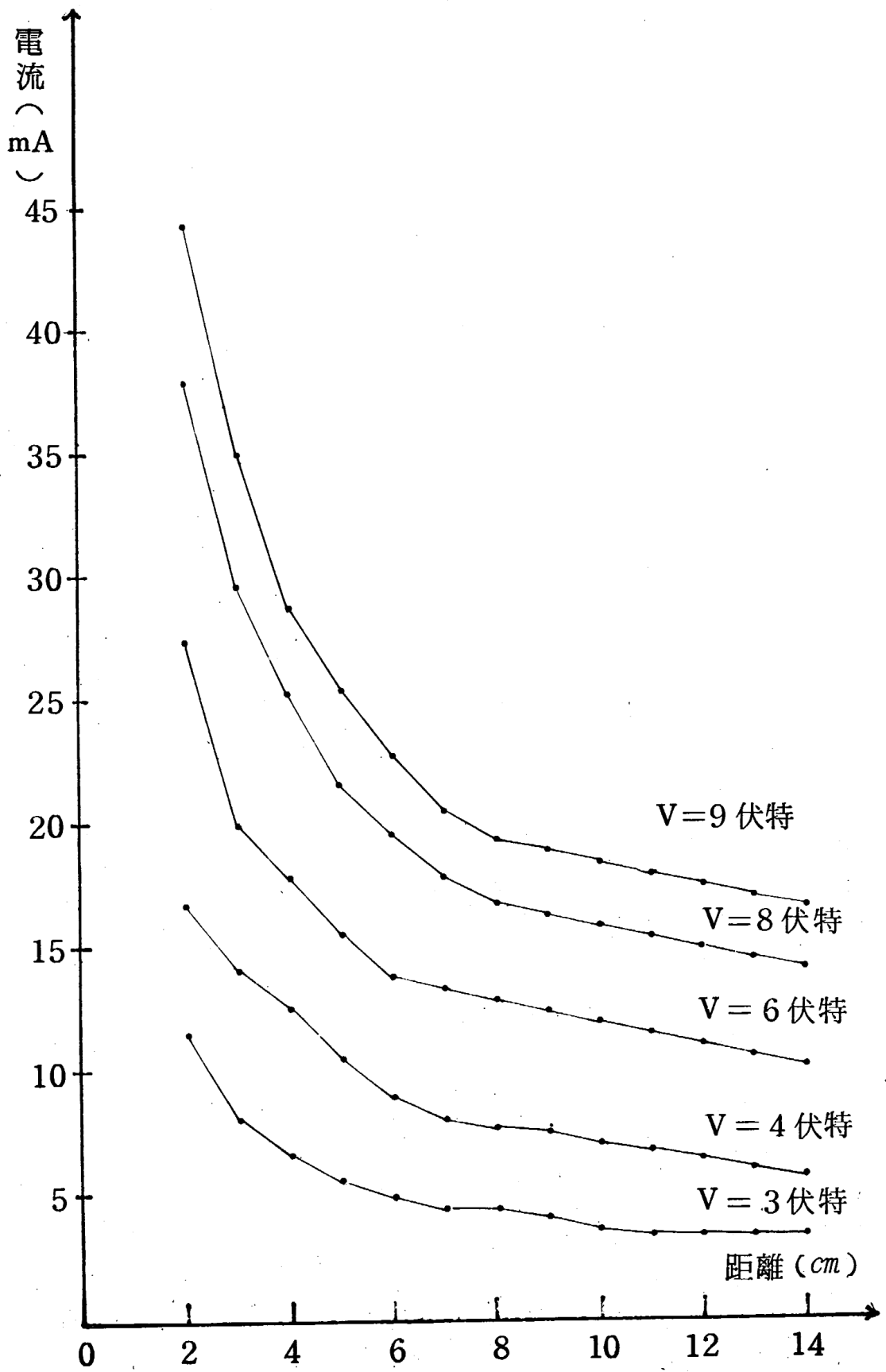
圖(二) 電流強度與濃度的關係



圖(四) 電流強度與板極面積關係



圖(五) 電流強度與板極距離關係圖





圖(六) 電壓倒數與溫度的函數關係圖

