

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 化學科

040215

以自製工具觀測水溶液結冰的濃度變化

學校名稱：臺北市立大直高級中學

作者： 高二 楊立盛 高二 林建達 高二 湯凱誠 高二 鄧宇盛	指導老師： 陳煌仁
---	--------------

關鍵詞：濃度觀測 水結冰 濃度梯度

摘 要

本研究的工具是光敏電阻、數位電表及電源供應器以及一個暗箱所組成的「自製濃度觀測工具」。利用珍珠奶茶的大吸管內裝有色離子溶液，放置於冰櫃中冷凍。冷凍完成後取出，以線鋸鋸開吸管當中的冰塊(每 5 公分一段)，待其融化成水溶液，以自製工具觀測其濃度。操縱變因是吸管水平或垂直擺放、全部同時冷凍或分段冷凍、冷卻速率、溶液的濃度、冷凍的溫差、以及吸管的長度。結果可以清楚得知最初結成的冰濃度幾乎為零。冷卻速率愈慢，對低濃度的溶液驅趕離子效應愈明顯。吸管愈長，末端離子濃度幾乎不變。改變冷卻的溫差更能夠將溶質粒子推擠到吸管的末端。垂直擺放下方較濃，並證實水結冰的推力非常的小，並不足以改變地心引力所產生的濃度梯度。

壹、研究動機

在高一基礎化學內容第二章學過海水淡化的方式，有一種特別的方法叫做凝聚法[參考資料二]，內容主要在介紹海水在結冰的過程中，水分子會結成冰，冰塊當中沒有鹽類，如此的話，只要將海水結冰時的冰塊過濾出來，然後融化便可得到淡水。可是我們在外面買的冰棒有鹹冰棒、甜冰棒，當中都含有相當多的物質，例如果粒、鹽分、糖分等，這些物質為何又可以凝結在冰塊當中。我們因此推想是不是溶液在結冰的時候，水分子間以特殊的鍵結(氫鍵)結合在一起，把水中的雜質(如食鹽、糖分)推離冰塊，因此溶液的濃度愈來愈濃，可是當溶液的濃度大到某一程度時，水分子已經沒有足夠的能力可以推開這些物質，因此會與冰塊結在一起。在本研究中，我們利用一些簡便的實驗室裝置來探討這個問題。

在上一屆台北市科學展覽當中，學長們利用光敏電阻、比色管以及自製暗箱，製作出一個簡易的濃度觀測裝置，可以簡易的在高中化學實驗室觀察溶液濃度的變化，其主要是利用在光敏電阻照光量愈強、電阻愈小、電流愈大的原理，來測量比色管中溶液的濃度。在本研究中，我們繼續利用這一套裝置觀察水溶液結冰的過程中，濃度的變化情形。

貳、研究目的

- 一、觀察溶液結冰時的現象。
- 二、探討離子溶液結冰過程時濃度變化與分布。
 - 1.不同結冰速度時的濃度分布
 - 2.不同離子種類與濃度的溶液結冰時的濃度分布
 - 3.結冰時的溫度控制對濃度的影響
 - 4.不同長度的容器對濃度的影響
 - 5.垂直與水平擺放時的離子濃度分布
- 三、探討離子在冰塊中是否會擴散

參、研究設備及器材

一、儀器

電源供應器 (power supply)、光敏電阻 (Cds photoresistor)、三用電錶 (DCV)、數位電錶與電腦、電子天平 (electric balance)、檢流器 (galvanometer)、精密天平 (小數點後四位)、烘箱 (Oven)、溫度計(thermometer)、磁石攪拌器(Magnetic stirrer)、冰櫃(小型冰箱)。

二、器材

自製暗箱、鹵素燈泡、燒杯 (50mL、250mL、500mL) 各數個、量筒 (10mL、25mL) 數支、玻璃滴管數支、鐵架一組、試管架一個、高級比色管 6 支、刮勺數支、攪拌棒一支、黑布、尺、安全吸球、分度吸量管、玻璃片、碼錶、珍珠奶茶大吸管、培養皿、橡皮筋、保鮮膜、線鋸。

三、自製濃度觀測工具

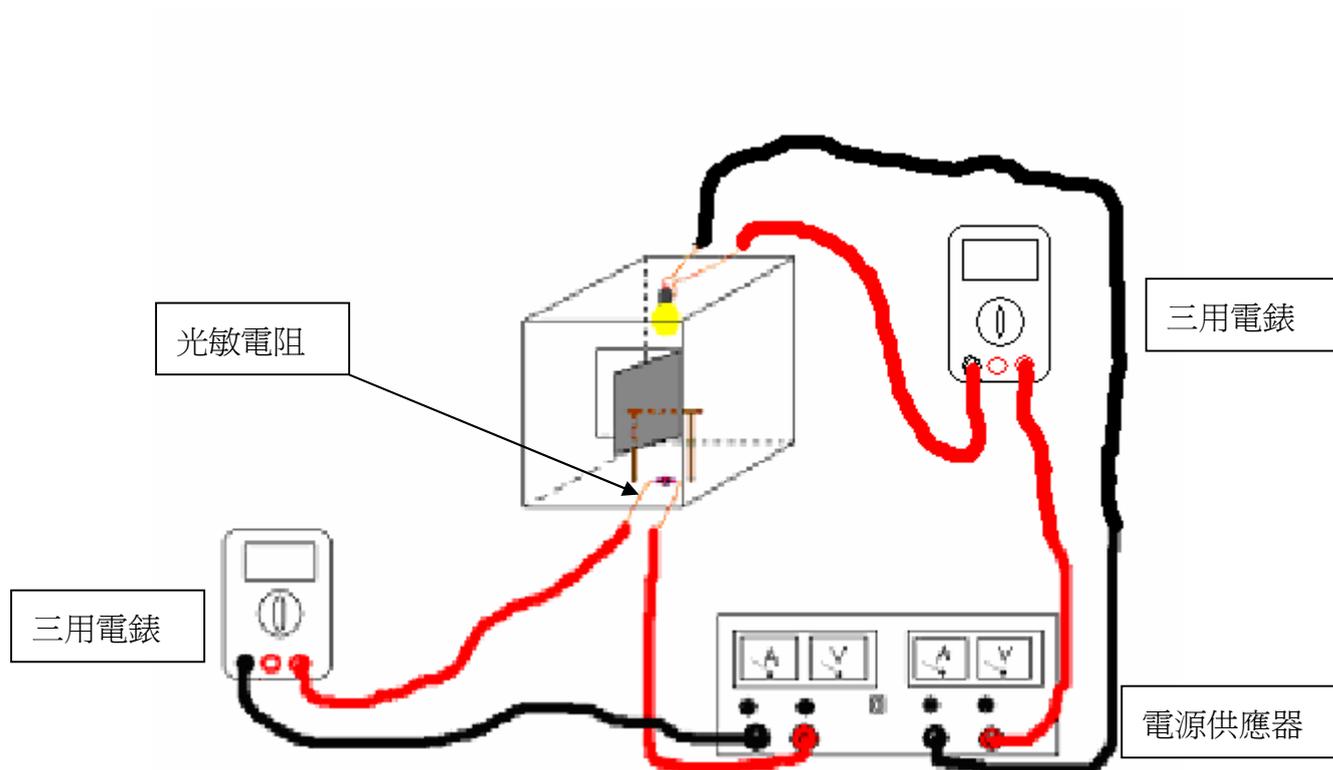


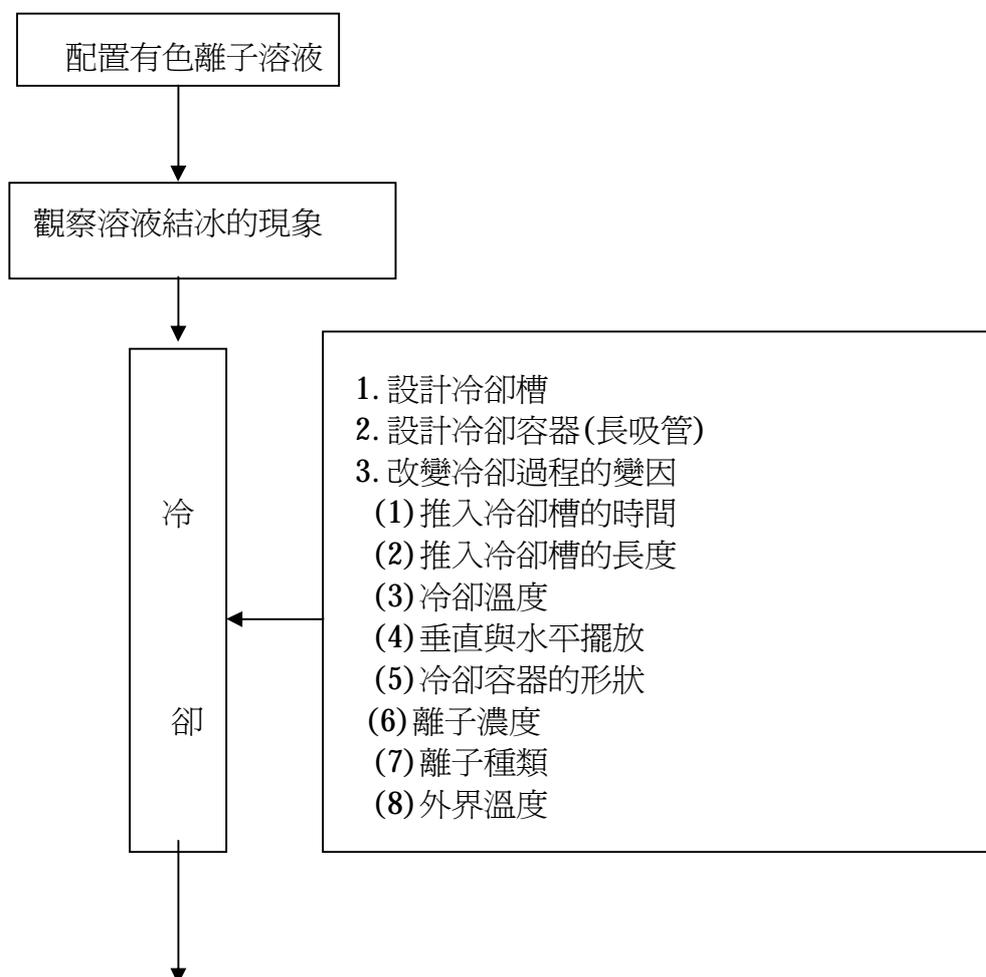
圖 3-1 自製實驗暗箱裝製圖

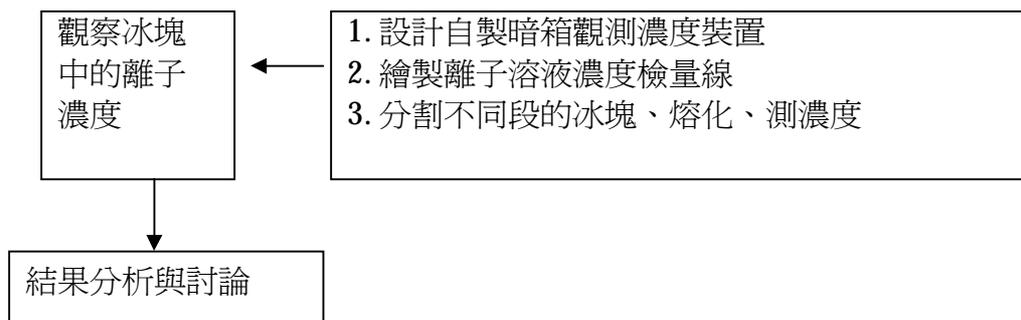
四、藥品

藥品名	數量	藥品名	數量
硫酸銅 CuSO_4	1 瓶	氯化鈉 NaCl	1 瓶
氯化亞鈷 CoCl_2	1 瓶		1 瓶
硝酸銅 $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	1 瓶		1 瓶
氯化銅 CuCl_2	1 瓶		

肆、研究過程或方法

本研究主要在探討溶液結冰的過程當中，溶質的分佈情形，因此在實驗的設計有兩個部份，一是如何讓溶液同時結冰或分段結冰，二是如何觀察冰塊中的離子濃度。因此本實驗使用長吸管，灌入有色離子溶液，放入冷卻槽中結冰，改變冷卻的變因(冷卻速率、冷卻溫度)，待其完全結冰之後，取出以線鋸切成等距離的數段冰，並放置在培養皿當中，待其完全熔化回到室溫，以自製暗箱利用光敏電阻觀察每一段溶液的離子濃度。實驗設計如下，實驗步驟詳述如後：





【實驗一、觀察溶液結冰的現象】

目的：以肉眼觀測有色離子溶液結冰時的現象。

步驟：

1. 以吸量管吸取 40mL 1M 硫酸銅溶液放入培養皿。
2. 將培養皿放入冰櫃冷凍(冰櫃溫度 -5°C)。
3. 靜待 30 分鐘後取出。
4. 取 1M 氯化亞鈷溶液重覆上步驟。
5. 另取兩個培養皿分別內裝 40mL 1M 硫酸銅以及氯化亞鈷溶液。
6. 和已結冰的溶液比較，看有什麼變化。

【實驗二. 自製濃度觀測裝置－檢量線的製作】

目的：製作硫酸銅、氯化亞鈷等溶液的濃度與電流關係圖，以作為後續實驗濃度測量之用。

步驟：

1. 配置硫酸銅溶液 0.05M、0.1M、0.2M、0.4M、0.6M、0.8M、1M 各 100 毫升。
2. 分別吸取上述的硫酸銅溶液 1 毫升，放置於自製暗箱的比色管當中，以固定電壓 (30V) 的光源，讀取光敏電阻迴路的電流值，記錄下來。
3. 繪製濃度與電流關係圖當做檢量線。
4. 依照上述步驟，製作氯化亞鈷的檢量線。

【實驗三. 探討溶液結冰時的離子濃度分布—全部冷卻、水平擺放】

目的：將有色離子溶液水平放入冷卻槽冷卻，測量離子濃度分布，作為分段冷卻實驗的對照組。

步驟：

1. 取珍珠奶茶吸管兩支，連接成一支長吸管，作為冷卻容器。
2. 取 1M 硫酸銅溶液 37ml 注入長吸管中。
2. 將長吸管水平放入冰櫃中，冷凍 10 分鐘，冰櫃溫度控制在 -10°C 。
3. 待其完全冷凍後取出長吸管，趁其結冰時，將長吸管以線鋸每 5 公分鋸一段。
4. 把每一段放入準備好的培養皿，待其熔化回到室溫。
5. 以吸量管、安全吸球依序吸取每一個培養皿硫酸銅溶液 1ml，注入比色管中，以自製濃度觀測裝置進行測量，讀取電流值。

【實驗四. 探討溶液結冰時的離子濃度分布—分段冷卻、水平擺放】

目的：將有色離子溶液水平放入恆溫槽中，分段冷卻，觀察離子濃度分布。

步驟：

1. 取 1M 硫酸銅溶液 37ml 注入實驗三的長吸管中。
2. 將其水平放入恆溫槽中，以大約 -20°C 的冷劑(冰與食鹽 1:3 的混合液)覆蓋吸管 5 公分(一段)。
3. 沿著吸管的一端每 5 公分為一段，依序覆蓋冷劑，每 6 分鐘增加一段，直到覆蓋整個吸管為止，如圖 4-1 所示。

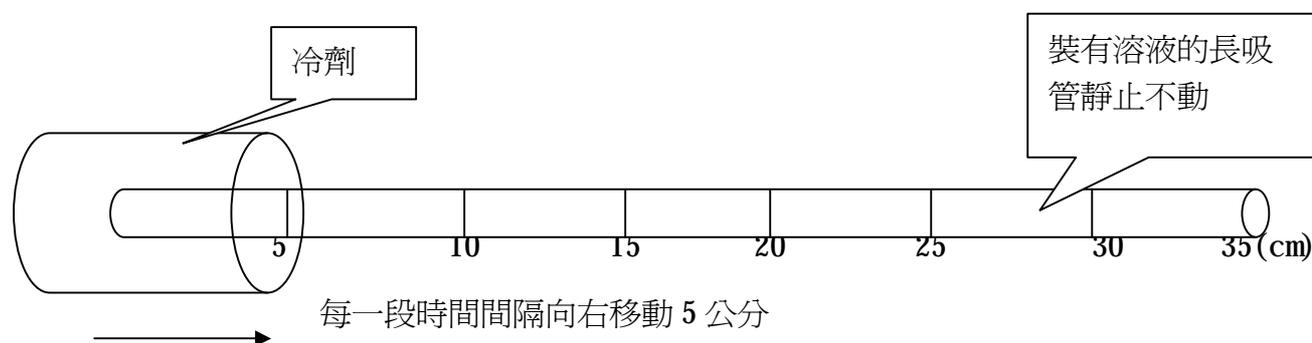


圖 4-1 溶液分段冷凍示意圖

4. 開啓冰櫃電源控制溫度在 -7°C 再冷凍 10 分鐘。
5. 取出長吸管，以線鋸鋸斷(每 5 公分一段)，放入準備好的培養皿，待其熔化回到室溫。
6. 把熔化後的溶液以吸量管吸取 1ml 硫酸銅溶液，注入試管。
7. 把試管放入自製濃度測量裝置進行測量，讀取電流值。

【實驗五 探討溶液結冰時的離子濃度分布—全部冷卻、垂直擺放】

目的：將有色離子溶液垂直放入恆溫槽中，全部冷卻，觀察離子濃度分布。

步驟：

1. 取 1M 硫酸銅溶液 37ml 注入組合吸管。
2. 將其垂直放入冰櫃冷凍 10 分鐘，冰櫃溫度控制在 -10°C 。
3. 待其完全冷凍後取出，以鋸子鋸斷(每 5 公分一段)。
4. 把每一段放入準備好的培養皿，待其熔化，回到室溫。
5. 以吸量管、安全吸球吸取 1ml 硫酸銅溶液，注入試管。
6. 把試管放入暗箱以光敏電阻進行測量，讀取電流值。

【實驗六. 探討溶液結冰時的離子濃度分布—分段冷卻、垂直擺放】

目的：將有色離子溶液水平放入恆溫槽中，分段冷卻，觀察離子濃度分布。

步驟：

1. 取 1M 硫酸銅溶液 37ml 注入實驗三的長吸管中。
2. 將其垂直放入恆溫槽中，以大約 -20°C 的冷劑(冰與食鹽 1:3 的混合液)由吸管下方覆蓋吸管 5 公分(一段)。
3. 沿著吸管的下端往上每 5 公分為一段，依序覆蓋冷劑，每 10 分鐘增加一段，直到覆蓋整個吸管為止。
4. 開啓冰櫃電源控制溫度在 -7°C 再冷凍 10 分鐘。
5. 取出長吸管，以線鋸鋸斷(每 5 公分一段)，放入準備好的培養皿，待其熔化回到室溫。
6. 把熔化後的溶液以吸量管吸取 1ml 硫酸銅溶液，注入試管。

7. 把試管放入自製濃度測量裝置進行測量溶液的濃度，讀取電流值。

【實驗七 探討冷卻速率對離子濃度分布的影響】

目的：將有色離子溶液水平放入恆溫槽中，改變分段冷卻的時間觀察離子濃度分布。

步驟：

1. 重複實驗四的實驗步驟。
2. 依序改變分段冷凍的時間為 6 分鐘、9 分鐘與 12 分鐘。
3. 觀測每一組實驗後的離子濃度分佈。

【實驗八 探討冷凍溫差對水平分段冷凍的影響】

目的：改變冷卻過程中冷熱的溫差，分段冷卻，觀察離子濃度分布。

步驟：

1. 取 0.2 硫酸銅溶液 37ml 注入實驗三的長吸管中。
2. 將其水平放入恆溫槽中，以大約 -20°C 的冷劑(冰與食鹽 1:3 的混合液)覆蓋吸管 5 公分(一段)，另外在距離覆蓋冷劑 5 公分的位置，用熱水袋(內裝 40°C 的熱水)上下包住吸管，如下圖所示。
3. 沿著吸管的一端每 5 公分為一段，依序覆蓋冷劑，每 6 分鐘增加一段，直到覆蓋整個吸管為止。

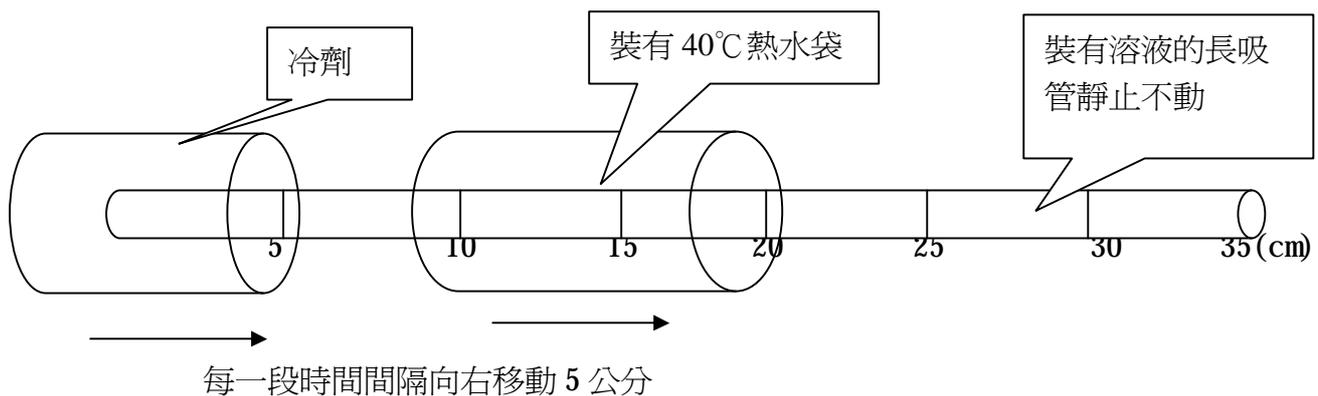


圖 4-2 溶液溫差分段冷凍示意圖

4. 開啓冰櫃電源控制溫度在 -7°C 再冷凍 10 分鐘。
5. 取出長吸管，以線鋸鋸斷(每 5 公分一段)，放入準備好的培養皿，待其熔化回到室溫。

6. 把熔化後的溶液以吸量管吸取 1ml 硫酸銅溶液，注入試管。
7. 把試管放入自製濃度測量裝置進行測量溶液的濃度，讀取電流值。

【實驗九 探討水平擺放吸管長度對濃度的影響】

目的：將有色離子溶液水平放入恆溫槽中，改變吸管長度觀察離子濃度分布。

步驟：

1. 改變吸管長度為 45cm。
2. 重複實驗四的實驗步驟。
3. 讀取水平分段冷凍後，溶液的電流值。

【實驗十 探討冰塊中離子的擴散現象】

目的：探討離子在冰塊中是否有擴散現象。

步驟：

1. 取兩支長吸管，一支裝有 1M 氯化亞鈷溶液，另一支裝有純水。
2. 將兩支吸管水平放入冰櫃中冷凍 3 小時。
3. 確定結冰後將兩支吸管以頭對頭的方式接起來(連接過程在冰櫃中進行)，繼續在冰櫃中冷凍十個小時。
4. 取出吸管，每五公分截一段，觀測其濃度。



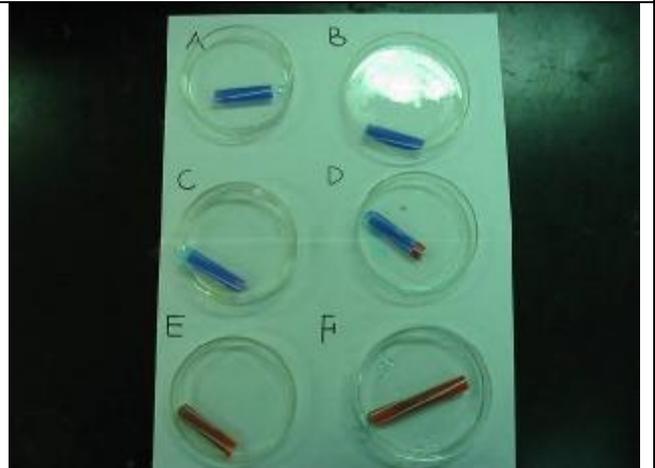
自製濃度測量工具



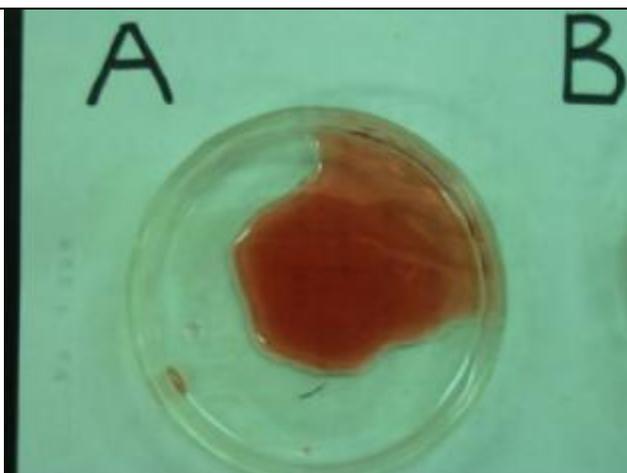
水平分段冷卻實驗操作



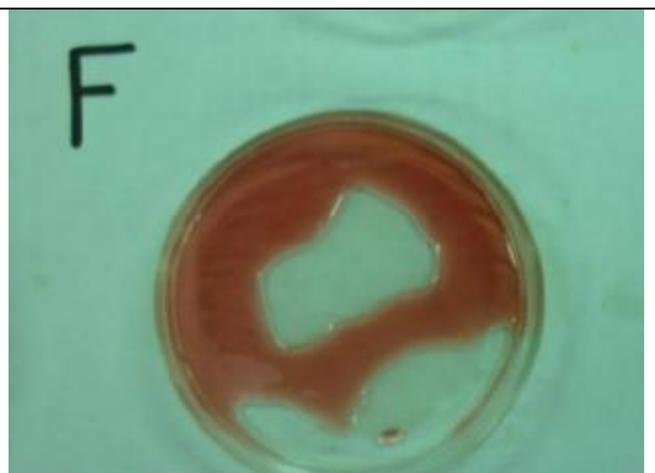
垂直分段冷凍實驗操作



吸管冷凍後截斷放置培養皿中



截斷後熔化後照片



截斷後熔化後照片

伍、研究結果

【實驗一 觀察溶液結冰的現象】



圖 4-1 硫酸銅與氯化亞鈷結冰前後比較照片

【實驗二. 自製濃度觀測裝置—檢量線的製作】

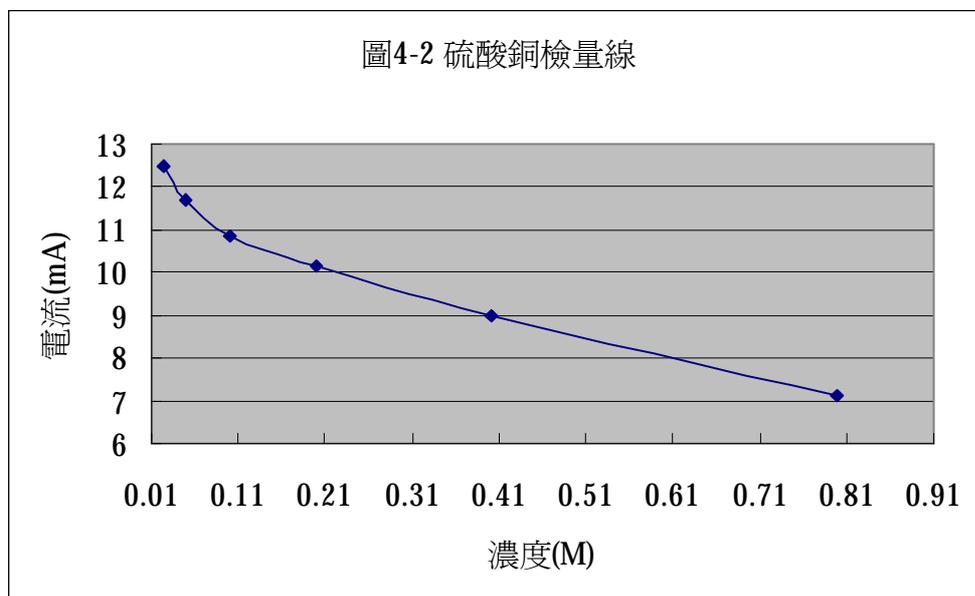
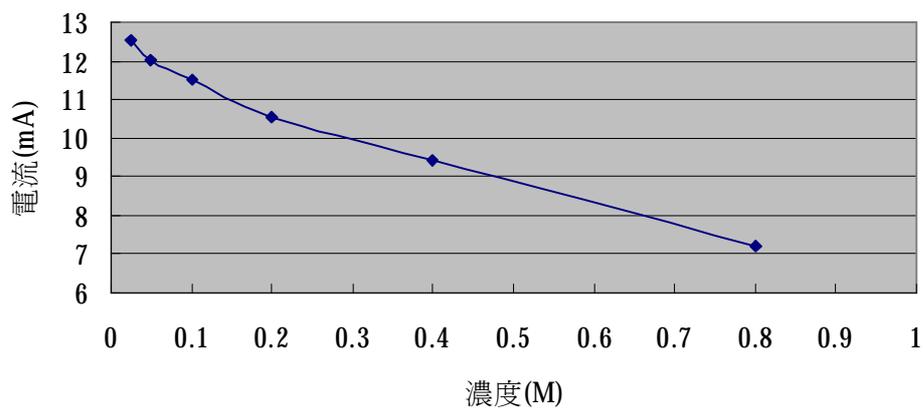


圖4-3 氯化亞鈷檢量線



【實驗三. 探討溶液結冰時的離子濃度分布—全部冷卻、水平擺放】

圖4-4 0.2M硫酸銅水平直接冷凍

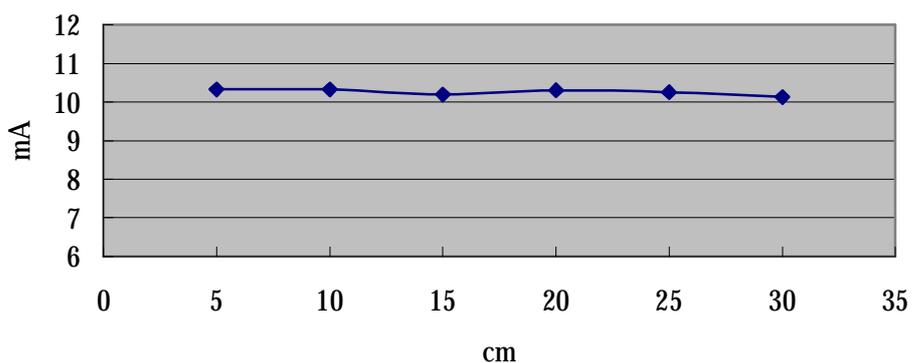
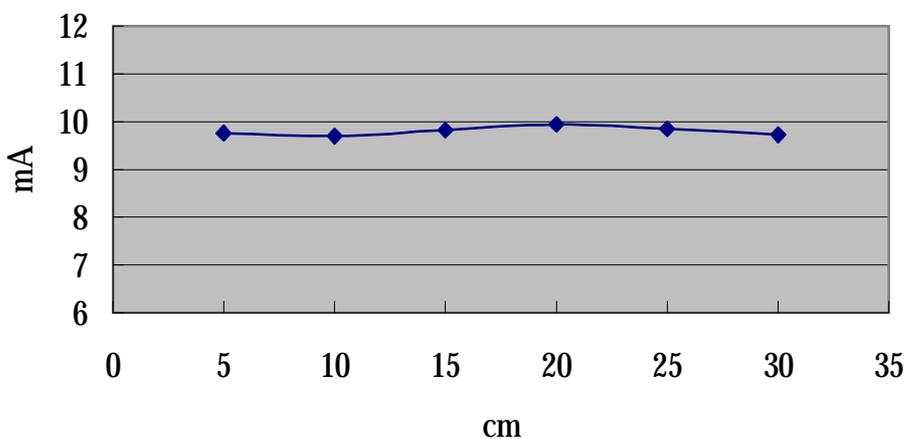


圖4-5 0.2M氯化亞鈷水平直接冷凍



【實驗四. 探討溶液結冰時的離子濃度分布—分段冷卻、水平擺放】

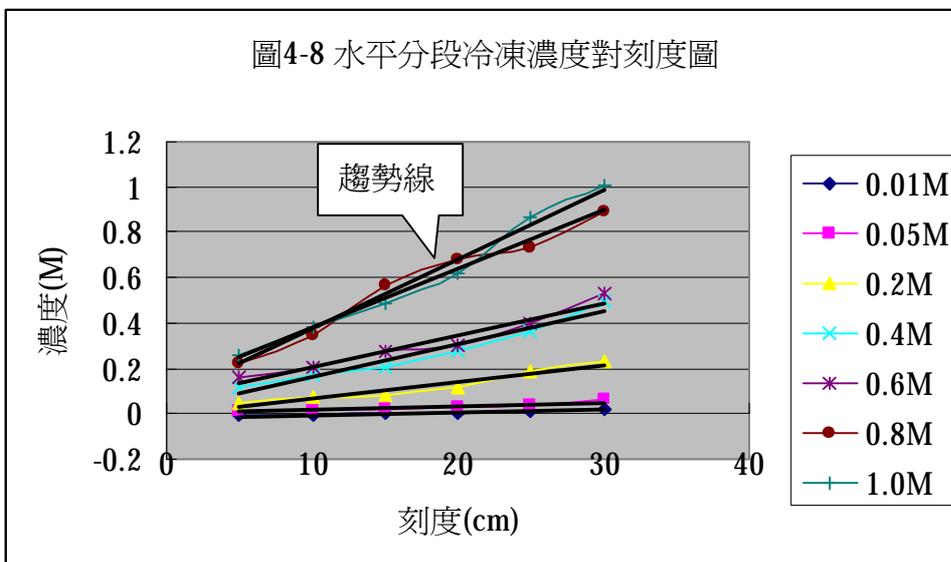
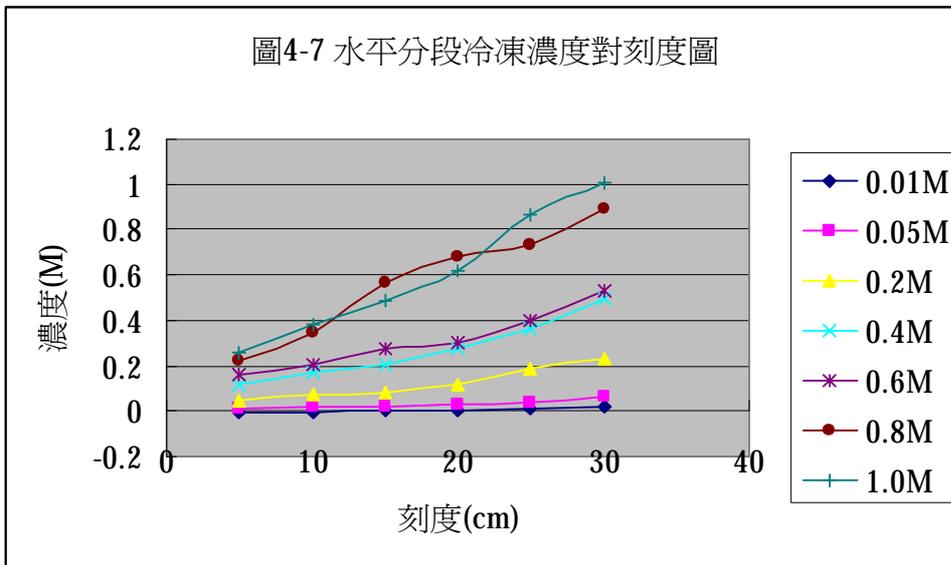
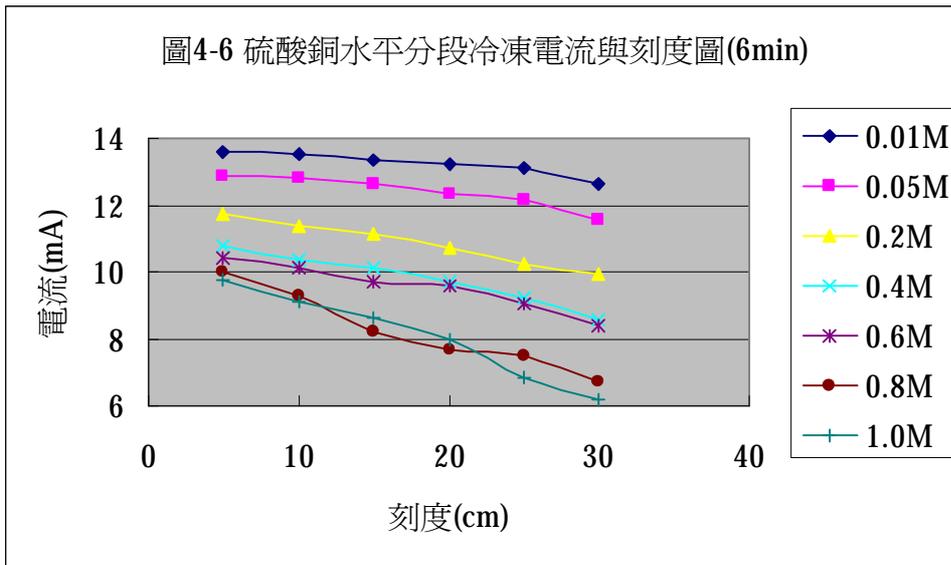


表 4-1 水平分段冷凍電流與刻度關係 (單位：mA)

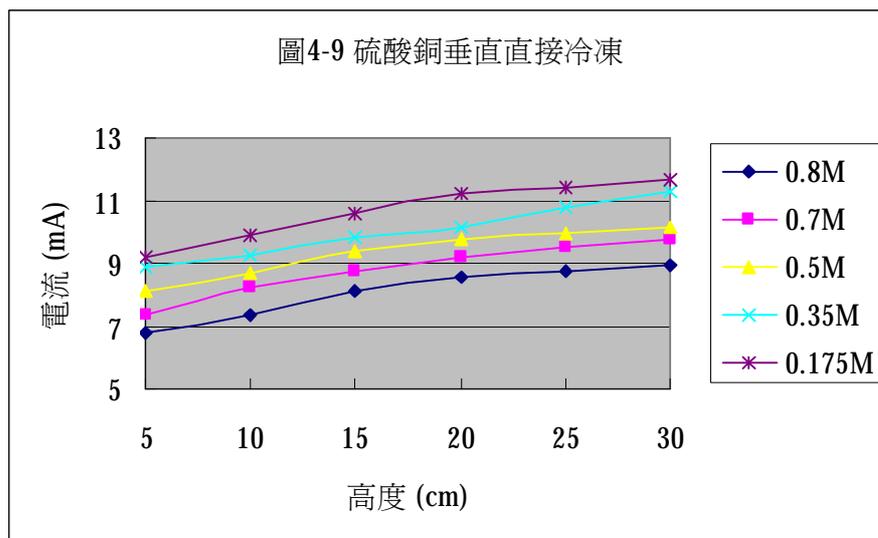
	5	10	15	20	25	30
0.01	13.61	13.53	13.35	13.21	13.08	12.64
0.05	12.84	12.78	12.65	12.34	12.12	11.53
0.2M	11.72	11.36	11.12	10.74	10.25	9.95
0.4M	10.75	10.34	10.11	9.71	9.23	8.57
0.6M	10.44	10.09	9.71	9.56	9.02	8.41
0.8M	10.01	9.29	8.22	7.7	7.47	6.7
1M	9.79	9.11	8.61	7.97	6.84	6.16

表 4-2 水平分段冷凍濃度與刻度關係(單位：M)

M	5	10	15	20	25	30	末端濃度 梯度斜率
0.01	-0.009	-0.007	-0.001	0.003	0.007	0.021	2.8
0.05	0.014	0.0165	0.021	0.03	0.034	0.061	5.4
0.2	0.05	0.071	0.0847	0.117	0.1847	0.234	9.86
0.4	0.115	0.172	0.204	0.276	0.361	0.494	26.6
0.6	0.158	0.209	0.276	0.303	0.398	0.528	26
0.8	0.223	0.35	0.568	0.68	0.729	0.894	33
1	0.26	0.382	0.485	0.622	0.8642	1.01	29.16

註：末端濃度梯度斜率： $(M_{30} - M_{25}) \div 5 \times 1000$

【實驗五 探討溶液結冰時的離子濃度分布—全部冷卻、垂直擺放】



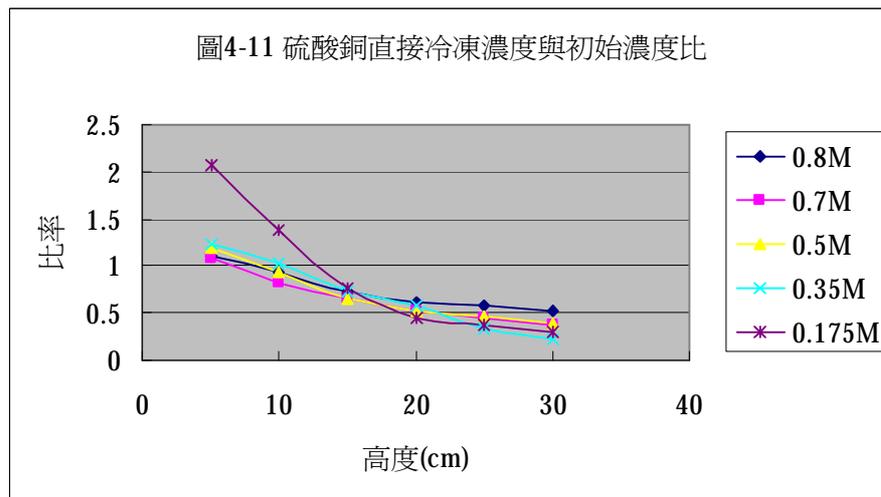
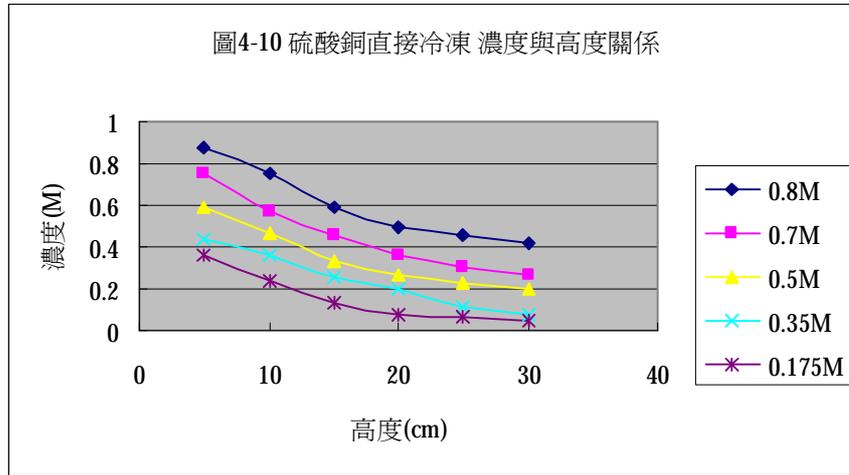


表 4-3 垂直全部冷凍濃度與高度關係 (單位：M)

高度	5	10	15	20	25	30	前端濃度 梯度斜率
直接 0.8M	0.877	0.751	0.586	0.494	0.459	0.419	25.2
直接 0.7M	0.755	0.571	0.459	0.364	0.308	0.267	36.8
直接 0.5M	0.594	0.466	0.33	0.265	0.23	0.196	25.6
直接 0.35M	0.434	0.359	0.253	0.2	0.115	0.076	15.0
直接 0.175M	0.364	0.241	0.134	0.079	0.0658	0.0523	24.6
						平均	25.44

註：前端濃度梯度斜率： $(M_5 - M_{10}) \div 5 \times 1000$

表 4-4 垂直全部冷凍濃度與初始濃度的比值

	5cm	10cm	15cm	20cm	25cm	30cm
直接 0.8M	1.096	0.939	0.733	0.618	0.574	0.524
直接 0.7M	1.079	0.816	0.656	0.520	0.440	0.381
直接 0.5M	1.188	0.932	0.660	0.530	0.460	0.392
直接 0.35M	1.240	1.026	0.723	0.571	0.329	0.217
直接 0.175M	2.080	1.377	0.766	0.451	0.376	0.299

【實驗六. 探討溶液結冰時的離子濃度分布—分段冷卻、垂直擺放】

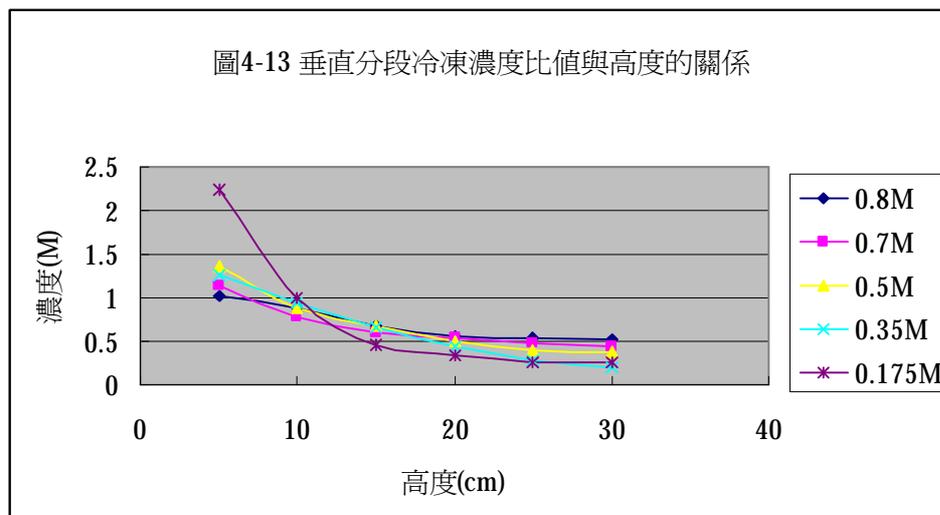
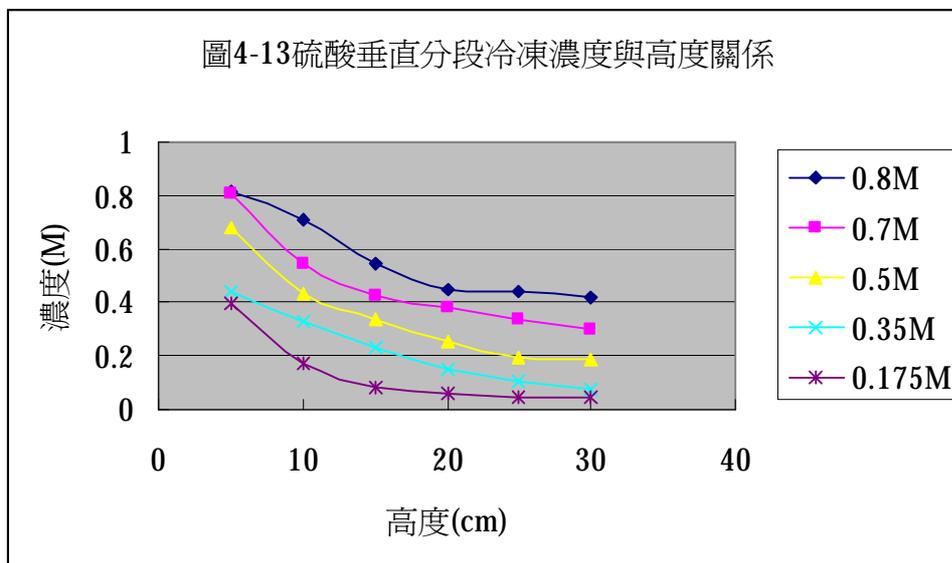
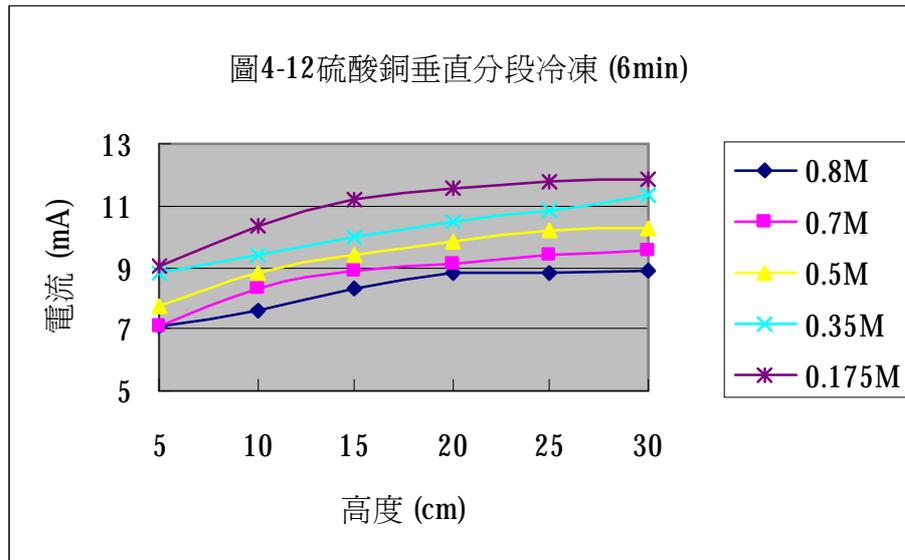


表 4-5 垂直分段冷凍濃度與高度關係 (單位: M)

	5	10	15	20	25	30	前端濃度 梯度斜率
分段 0.8M	0.815	0.71	0.543	0.447	0.438	0.421	21.0
分段 0.7M	0.804	0.543	0.426	0.378	0.336	0.302	52.2
分段 0.5M	0.678	0.436	0.336	0.254	0.196	0.186	48.4
分段 0.35M	0.441	0.326	0.234	0.151	0.101	0.073	23.0
分段 0.175M	0.392	0.175	0.079	0.06	0.046	0.0459	43.4
						平均	37.6

表 4-6 垂直分段冷凍濃度與初始濃度的比值

	5	10	15	20	25	30
分段 0.8M	1.02	0.89	0.68	0.56	0.55	0.53
分段 0.7M	1.15	0.78	0.61	0.54	0.48	0.43
分段 0.5M	1.36	0.87	0.67	0.51	0.39	0.37
分段 0.35M	1.26	0.93	0.67	0.43	0.29	0.21
分段 0.175M	2.24	1.00	0.45	0.34	0.26	0.26

【實驗七 探討冷卻速率對離子濃度分布的影響】

圖 4-14 不同冷卻速率濃度與刻度的關係

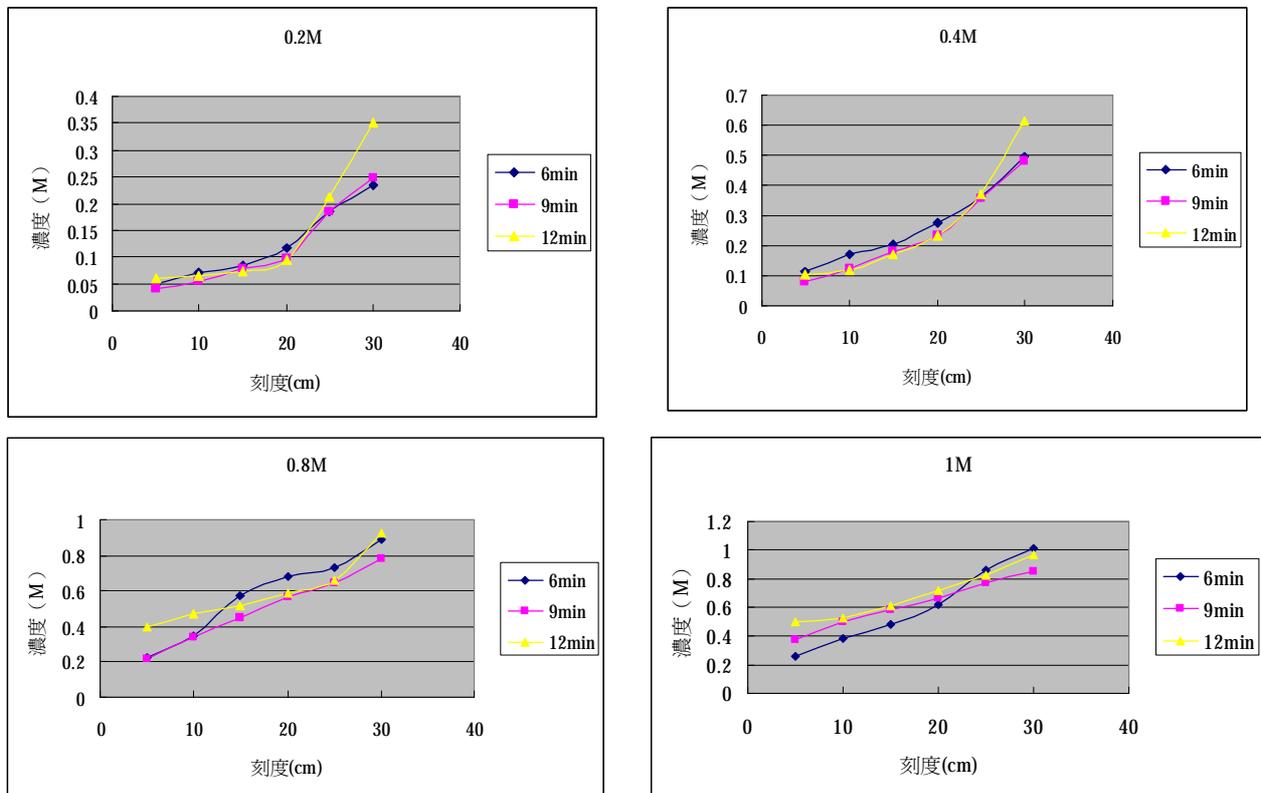
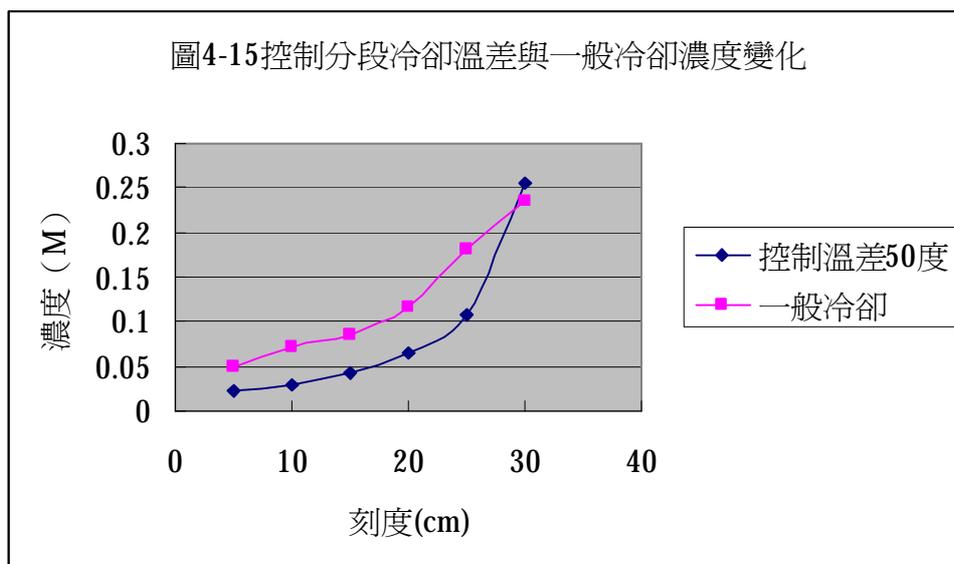


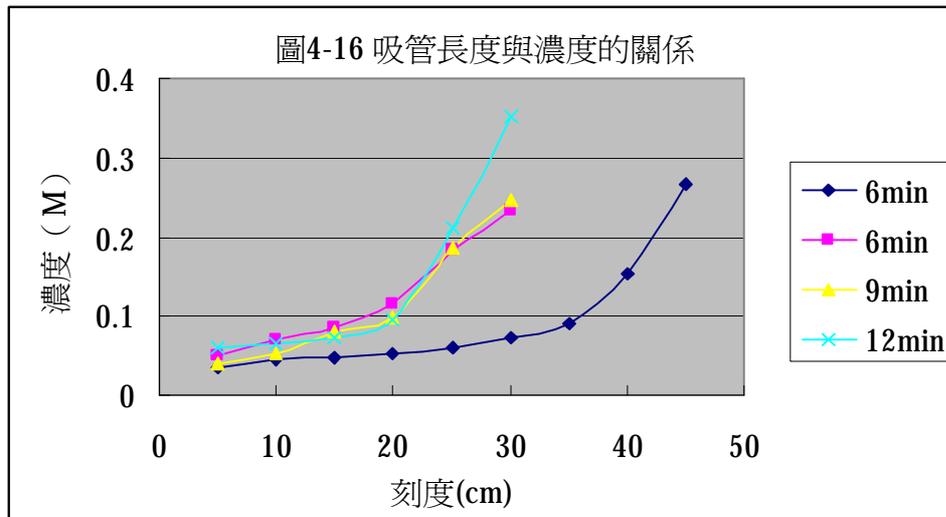
表 4-7 不同冷卻速率濃度與刻度的關係 (單位: M)

0.2M	5	10	15	20	25	30	末端濃度 梯度斜率
6min	0.0496	0.071	0.0847	0.1167	0.184	0.234	10.0
9min	0.041	0.0535	0.0794	0.0982	0.186	0.247	12.2
12min	0.061	0.0652	0.0735	0.0947	0.212	0.352	28
0.4M	5	10	15	20	25	30	末端濃度 梯度斜率
6min	0.115	0.172	0.205	0.276	0.361	0.494	26.6
9min	0.079	0.126	0.182	0.232	0.357	0.479	24.4
12min	0.107	0.117	0.172	0.234	0.371	0.612	48.2
0.8M	5	10	15	20	25	30	末端濃度 梯度斜率
6min	0.223	0.35	0.569	0.68	0.729	0.894	33
9min	0.217	0.341	0.447	0.567	0.644	0.781	27.4
12min	0.4	0.472	0.517	0.586	0.66	0.928	53.6
1M	5	10	15	20	25	30	末端濃度 梯度斜率
6min	0.261	0.382	0.485	0.622	0.864	1.009	29
9min	0.375	0.505	0.583	0.667	0.768	0.853	17
12min	0.505	0.528	0.613	0.714	0.821	0.965	28.8

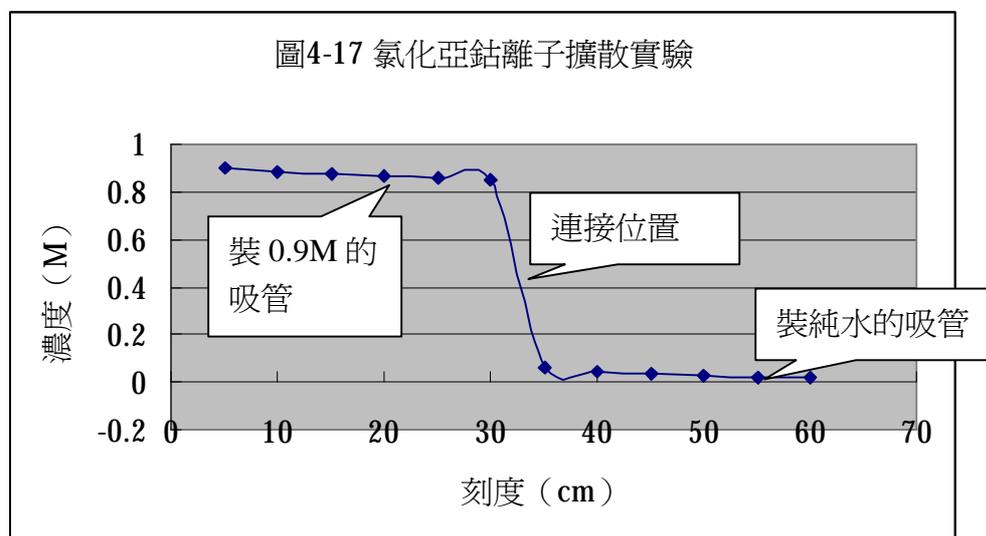
【實驗八 探討冷凍溫差對水平分段冷凍的影響】



【實驗九 探討水平擺放吸管長度對濃度的影響】



【實驗十 探討冰塊中離子的擴散現象】



陸、討論

- 一、利用光敏電阻隨光照量的不同，改變電阻的原理，我們可以用來觀測有色溶液的離子濃度。從實驗二硫酸銅與氯化亞鈷的檢量線圖，可以得知溶液濃度愈大，迴路的電流愈小，而且，當濃度大於 0.2M，電流與濃度較呈現直線關係，濃度小於 0.1M 時，電流明顯增加而呈現非線性關係。我們可以利用此檢量線，任兩點之間的內差法來判定未知的硫酸銅與氯化亞鈷的濃度，若濃度太高或太低，超過這些點的範圍，我們則是採用最接近兩點利用外差法來計算濃度值。
- 二、從實驗一硫酸銅溶液結冰前後的照片圖形，可以觀察出一個有趣的自然現象，未結冰的硫酸銅水溶液(1M)呈現藍色，結冰後的硫酸銅水溶液表面出現一層白色的物質，而這種現象在氯化亞鈷溶液卻不明顯。因為無水硫酸銅的顏色正巧為白色，因此我們可以推斷硫酸銅水溶液結冰時，部分的硫酸銅粒子被推離到冰塊外面去了，所以我們可以在表面看到白色物質。可是氯化亞鈷不含結晶水時為藍色，我們卻沒有看見氯化亞鈷溶液結冰時表面呈現藍色。可見水結冰時，並非可以將所有的粒子推離冰塊，而是可以容納某個濃度的粒子存在冰塊中，超過某一限度濃度，粒子才可能被推離冰塊。這個限度的濃度，我們稱為「極限濃度」，究竟有沒有極限濃度存在，我們在實驗三～實驗九中進一步做驗證。
- 三、實驗三的結果可以得知，當硫酸銅溶液水平全部冷凍時，整根吸管中的硫酸銅電流是呈現幾乎相等的水平線，也就是硫酸銅均勻分佈在整根吸管當中，這與我們一般的認知相同。可是從實驗四水平分段 6min 冷凍的結果可以發現，當我們從吸管的一端沿著吸管慢慢的開始冷凍時，最後整根吸管的硫酸銅濃度便不再是均勻分佈，而是呈現一端較濃、另一端較稀的現象，而且是先結冰的一端較稀，在此我們稱為「濃度梯度」。這可以歸因於水結冰時，由於水分子間的氫鍵鍵結對離子產生「驅趕」的作用。從實驗四的圖 4-7 可知，不論濃度的大小，這種「驅趕」的現象都存在，而且濃度愈大，吸管兩端的濃度差愈大，濃度梯度的斜率愈大，一個很有趣的現象，將圖 4-7 的每一個濃度畫一條趨勢線，每一條趨勢線幾乎在原點相交會，由此可以證明水結冰時，會盡可能把離子推離冰塊以外的，所以一開始結冰的地方濃度為零。
- 四、實驗五的結果如圖 4-1 所示，如果我們把裝有溶液的吸管垂直放入冰櫃中，全部冷凍後會發現溶液的離子濃度會呈現下面較濃，上面較稀的「濃度梯度」的狀況，這與我們一

般的認知相同，因為溶質粒子受到地心引力的影響，以致於較多粒子沈到溶液的下方。

若我們將 20 公分以內的濃度的點連起來，會發現每一種濃度的濃度梯度斜率幾乎是相同的，可以由這個現象觀察出，溶液的濃度梯度是存在於自然界當中。

- 五、如果我們在垂直的吸管下方每六分鐘覆蓋 5 公分冷劑的方式開始分段冷凍，結果如圖 4-13，會發現仍然是吸管下方的濃度較濃，與全部一起冷凍的結果差異不大。原本我們預估水結冰的結合力，會把溶質粒子往上推擠，使濃度梯度會有明顯的改變，可是從垂直全部冷凍與分段冷凍差異不大看來，而且濃度梯度沒有規律的變化，因此地心引力的影響還是遠大於水結冰的推力。
- 六、實驗七將吸管水平擺放，以 6、9、12 分鐘三種不同速率分段冷凍，如圖 4-14 及表 4-7 所示，在 0.2M 及 0.4M 的結果中，可以發現冷卻的速率愈慢（12 分鐘），最末端的濃度梯度斜率最大。可以推想為離子在吸管中移動需要時間，故分段冷卻時間長，離子才有時間慢慢移動到吸管的另一端，以致於到了吸管尾端，濃度急遽增加。可是這種濃度的差異在高濃度的 0.8M 及 1M 的圖形中，並不存在，而且高濃度的結果顯示吸管的最前端竟然是冷卻速率最慢的濃度最高，表示離子被推離的效果最差，根據推想應該是濃度太高溶質粒子太多，以致於推動速率若太慢反而會使溶質結在冰塊中而未被推離。而最末端的濃度都差不多，可以推論為已達到可以容納的最大濃度（極限濃度），所以速率快慢已經沒有差別了。
- 七、實驗八的結果發現若將吸管兩端的溫差提高，會使溶液的離子有向溫度高的一端集中的趨勢，表示溫差大的冷凍方式會使末端的濃度梯度斜率加大，可是最末端的濃度與一般冷卻的結果相當。可見要使水溶液結冰，冰塊中沒有溶質，外界的溫度也是影響濃度分佈的變因之一。推測可能是溶液溫度較高時，離子的運動速率較快，導致溶液中的離子可以較快被冰塊推離。
- 八、從圖 4-7 我們發現先結冰的一端濃度較稀薄，後結冰的一端較濃，從圖 4-8 畫出一條向右上升的趨勢線，試想如果吸管更長的話，那麼濃度會會一直上升嗎？從圖 4-16 我們得到了結果，大部分的粒子都會被推到吸管的末端，以致於最後 15 公分濃度急遽上升，形成濃度梯度，而且最後的濃度較短吸管的濃度相差不多。
- 九、為了驗證離子是否會在冰塊中擴散影響實驗結果，我們進行了實驗十，從結果可以得知，經過一整天的接觸，濃溶液的冰塊中的離子並沒有擴散到純冰塊中，以致於兩根吸管的

濃度幾乎沒有改變。從這個結果可以得知在一天之內，離子是沒有擴散現象的，或者說是擴散速率極小。因此我們可以推論實驗二至實驗九所觀測到的濃度，都是結冰瞬間所造成的。

柒、結論

- 一、自製濃度觀測工具可以很有效的觀測到溶液離子濃度，在本實驗中，我們利用長吸管將溶液結冰後，分割冰塊，再讓其熔化，便可以精準的測量出每一段溶液離子的濃度。
- 二、溶液結冰時，冰塊中的溶質在短時間內（一天左右）不會有擴散現象。
- 三、由吸管水平分段冷凍的結果可以證實，溶液結冰時，冰塊會將溶質往外推，直到推不動時才會將溶質結在冰塊中，而且從圖 4-8 的趨勢線可以得知最初結成的冰塊中離子濃度為零。這可以清楚的證實海水淡化的原理：海水結冰的初期，冰塊中沒有食鹽，將結成的冰塊取出，熔化就可以得到淡水。
- 四、從本實驗中可以得知影響溶液水平方向結冰時的離子濃度分佈的因素包括：冷卻速率、溶液原本的濃度、空間（吸管長度）、冷卻的溫差等。
- 五、冷卻速率愈慢（時間愈長），在低濃度時（0.2M 及 0.4M）驅趕離子的現象愈明顯，導致末端濃度梯度斜率大，但是高濃度（0.8 及 1.0M）的濃度梯度不會因為冷卻速率的快慢而有明顯差別。
- 六、結冰的空間愈大（吸管愈長），在結冰的過程，溶質粒子被驅趕到角落，最後在末端形成一個濃度梯度。這個濃度梯度的最大濃度並不會隨著結冰空間增加而有所改變。
- 七、冷卻的溫差愈大（一端冷、一端熱），愈能夠把溶質從冰塊中驅離，使吸管末端的濃度梯度愈明顯。
- 八、從垂直全部冷凍的結果（實驗五）可以知道，自然界的水溶液會因為地心引力的影響形成底部較濃的濃度梯度情形，而這種濃度梯度斜率不會因濃度而有所不同，也就是濃度會隨高度增加而減少，而且減少的比率是固定的。
- 九、水結冰的推力極小，並不足以改變溶液受地心引影響所產生的濃度梯度。

捌、參考資料

- 一、沈冠宇等四人，民國九十五年，自製濃度觀測工具及其在高中化學實驗的應用，台北市第三十九屆科展特優作品。
- 二、高中基礎化學，第二章自然界的物質，民國九十四年，龍騰文化出版有限公司。
- 三、高中物質科學化學篇（上），第三章溶液，民國九十四年版，龍騰文化出版有限公司。
- 四、高中選修化學（上），第一章溶液的狀態與性質，民國九十四年版，龍騰文化出版有限公司。

【評語】 040215 以自製工具觀測水溶液結冰的濃度變化

自製濃度觀測工具及研究方法頗為用心，惟在濃度測定上誤差較大，且缺少文獻上方法的比較。