

臺灣二〇〇三年國際科學展覽會

科 別：化學科

作品名稱：綠色化學實驗-利用溶劑特性回收實驗後的硫酸
銅

學 校：國立文華高級中學

作 者：李道翔

作者簡介



讀了多少年的書，走了多少年的路，都沒有比做科展的這段時光來得接近科學。分數考得再高，實驗安全念得再熟，進了實驗室就全無用武之地了。俗話說得好，不經一事，不長一智，的確，有了這次的經驗，我從此不再懼怕儀器。在繁忙的課業下，很多人不願付出額外的時間，但我認為這是值得的，知道做研究的辛苦，才能更珍惜所學到的知識；碰上教科書裡沒列出的問題，方可學會獨立處理問題的能力。

中文摘要：

利用 99% 丙酮及 95% 酒精可以把硫酸銅晶體從實驗後的廢棄水溶液中取出來；如同榨汁機一般，將硫酸銅結晶從水溶液中析出，其析出率可高達 95.0% ~90.0% 。不需要外加能源，只需加入適量體積的丙酮、酒精溶劑（參照結果與討論）靜置 24 小時不用攪拌，一顆一顆漂亮的硫酸銅晶體就析出沉於底部。經過簡單的過濾及烘乾硫酸銅晶體就可以回收再利用，過濾的溶液經過簡易的蒸餾也可以回收丙酮及酒精，留在下次重複使用。如此便能解決化學實驗室硫酸銅廢液的儲存及處理。此種流程也可以用於，部分含有無機化合物的廢棄水溶液。簡易安全的操作、可回收再利用、減低衍生物的產生等，是綠色化學實驗的目標。

SUMMARY :

By the use of 99% pure Acetone and 95% pure Alcohol can take the Copper Sulfate crystal out of the waste solution, as the way that juice press operates to separate the Copper Sulfate crystal from the solution. The rate of the separation can high up to 95.0%~90.0%. Without the need of extra energy , simply add proper mass of solvent like Acetone or Alcohol(refer to Result and Discussion)and place it 24 hours without stirring .Beautiful separated crystals of Copper Sulfate will settle down to the bottom drop by drop. Through simple filtering and drying, Copper Sulfate crystals can be recycled and are capable to use again. By simple distillation, the filtered solution can recycle the added solvent such as Acetone or Alcohol which can also reuse next time. By doing so, the problem of storing and managing the waste solution of Copper Sulfate in laboratories of Chemistry will be solved. This procedure can also be used in parts of the waste solutions which contain inorganics. Simple and Safe operation, the capability of recycling and reusing and reducing derivatives etc., are the goals of Green Chemistry.

名稱：綠色化學實驗—利用溶劑特性回收實驗後的硫酸銅

內文：

一、前言：

(一) 研究動機

在國中、高中的化學實驗課，經常會用到硫酸銅溶液。實驗後硫酸銅的水溶液就必須統一回收儲存，而回收的硫酸銅水溶液，常加入鋇離子及強鹼，使其成為硫酸鋇及氫氧化銅沉澱物，在過濾回收。至於文獻提及回收硫酸銅的方式，都是以蒸餾法為主，此法不僅隨時要加熱、費時甚久且要隨時在旁邊待命。近年來出現的微波烘乾法，雖然迅速，但需消耗很多能量也不是很好的方式。基於以上理由，希望能夠設計出另一種較便利又節省能源的方式，來回收硫酸銅晶體，竟而避免環境污染、回收可用物質達成綠色化學實驗的理念。

(二) 研究目的：

- 1、如何有效的從廢棄硫酸銅水溶液中回收硫酸銅晶體
- 2、歸納出硫酸銅晶體回收的系統化流程

二、實驗器材：

(一) 藥品：

- 1、硫酸銅
- 2、丙酮(99%)
- 3、酒精(95%)

(二) 凝固：

- 1、試管
- 2、冰箱
- 3、保麗龍容器
- 4、吸量管
- 5、三通球

(三) 過濾：

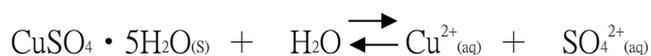
- 1、抽濾瓶
- 2、抽慮裝置
- 3、濾紙
- 4、滴管

- 5、玻片
- 6、夾子
- 7、括勺
- 8、燒杯
- 9、滴定管
- 10、 加熱以及磁攪拌器
- 11、 手電筒
- 12、 烘箱
- 13、 乾燥塔
- 14、 分析天平
- 15、 UV 光譜儀 SPECTRONIC 20D+
- 16、 李畢氏冷凝管
- 17、 蒸餾瓶

(四) 蒸餾：

- 1、燒杯
- 2、加熱以及磁攪拌器
- 3、電子溫度計
- 4、碼表
- 5、分析天平
- 6、UV 光譜儀 SPECTRONIC 20D+

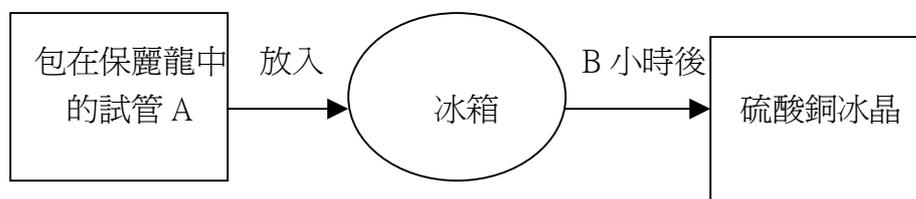
三、 原理描述：



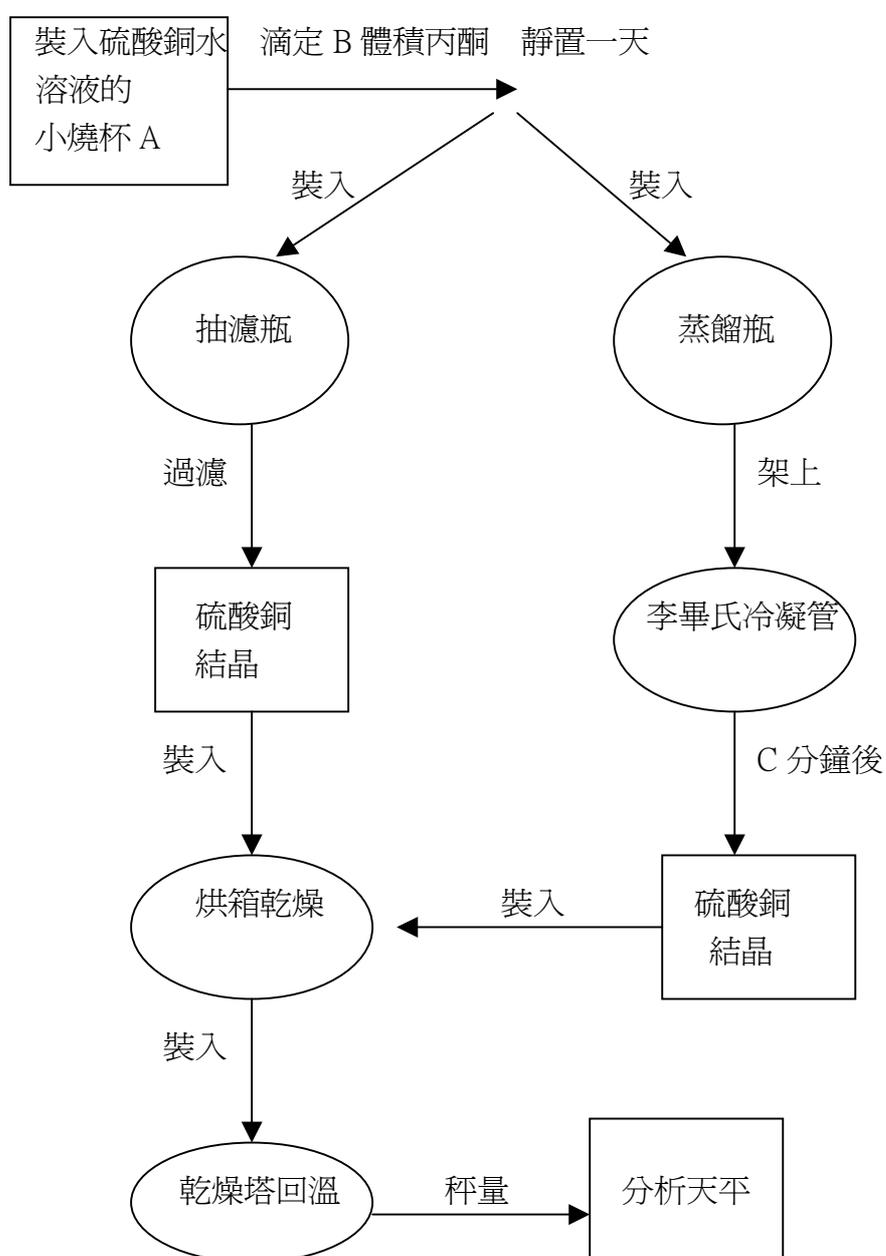
依照列沙特列原理，如果把反應物的水取走，則反應會往左進行，有利硫酸銅的晶體析出來，且加入的溶劑要與水互溶但與硫酸銅不互溶，如同鹽析法一般取出晶體來。會與水互溶，最好是會與水生成 H-bonding，如此才能把水抓緊又能保持液狀。由此可以知道硫酸銅晶體溶於水中是由水分子包圍銅離子及硫酸根離子形成水合物，水合能大於銅離子與硫酸根離子的結合力，而今要用溶劑去把銅離子與硫酸根從四周的水分子「抓出來」，溶劑需要與水有好的吸引力才行。當然溶劑不與硫酸銅晶體互溶也是重要的。為達到綠色化學實驗的原則，**選擇沸點低，安全性佳，毒性小，節省能源、不會有意外的衍生物，更重要的是溶劑可以回收再使用**；我探索了文獻，實驗室中的丙酮、酒精是不錯的溶劑，因為兩者皆會與水形成氫鍵、沸點低（丙酮 bp=56.5°C、酒精=78.6°C）、比重比水小（丙酮 d=0.7972、酒精 d=0.810），由液面上往下，漸漸與水鍵結，慢慢把硫酸銅壓擠出來。找尋其他的方式；結冰凝固法利用不同的凝固度點，把硫酸銅集中於冰晶中間，蒸餾法；利用物質不同的沸點分離，都是我要嘗試的方向。

四、 研究過程：

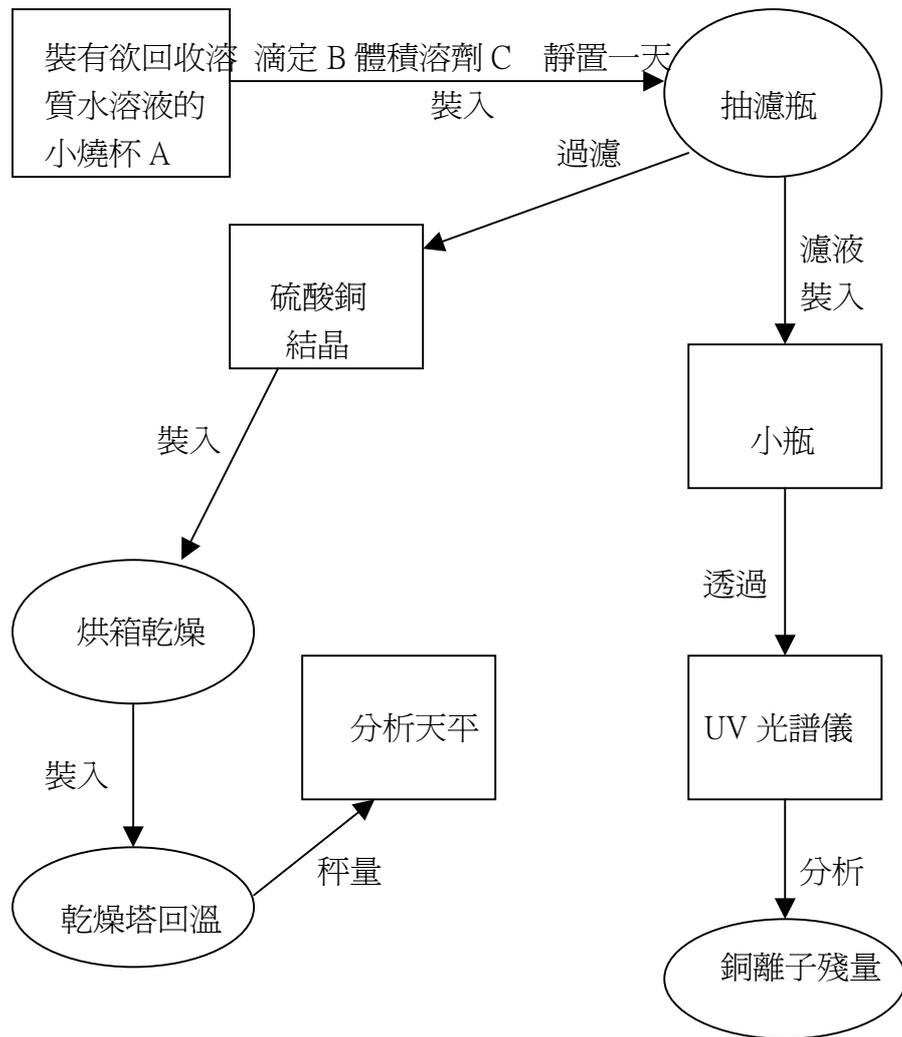
(一) 實驗一：



(二) 實驗二：



(三) 實驗三：



五、 結果與討論：

(一)實驗一(凝固法)：

- 1、 我預期透過結冰的方式，將硫酸銅溶液中的溶劑——水，給趕出來。先以裝有蒸餾水的水做冷凍，如果未包保麗龍，冰會由外往裡層結，如果要收集濃縮的溶劑，很不方便；包有保麗龍後，容器四周的冰會明顯的較薄，上下較厚，若要截取，比較方便。要讓一杯 200c.c. 的蒸餾水完全結冰，至少要一天。
- 2、 將 20c.c. 容器改爲裝有十公分水高的試管，多次實驗後，發現只要冰的膨脹不超過 1cm(約 6 小時)，就不會裂開，將來以硫酸銅做濃縮，才不會污染冰箱。
- 3、 我製做了較薄的保麗龍 A 與較厚的保麗龍 B，如果將裝有硫酸銅的試管裝入 A 至少要 6 小時才會完全結冰；若放入 B 則要 18 小時才會完全結冰。如照片一顯示，此法確能將硫酸銅濃縮，但不能完全將硫酸銅趕出冰晶。如照片二顯示，濃度大的效果更差。
- 4、 經過以上實驗，發現此法無法有效達到回收硫酸銅的目的，且費時甚久，希望後繼者莫要重蹈覆轍。

(二)實驗二(過濾與蒸餾法比較)：

在物質科學化學篇，溶液這個章節中，學到了同類相溶，不同類不相溶的性質，引發我另一個靈感，利用丙酮和水溶卻不和硫酸銅溶的原理，我找到了繼續研究下去的動力。設計出實驗二，數據如表 1：

項目 濃度	加入丙 酮體積 ml	總重 g	沉澱物 重 g	蒸餾過程	P %
0.05M 5ml A	7.4	0.3025	0.0215	/	0.35
0.05M 5ml B	8.4	0.3251	0.0400		0.57
0.05M 5ml C	9.4	0.2908	0.0078		0.10
0.05M 5ml D	7.4	69.5051	0.0399	29'32" 54.0~98.5 度	0.05
0.05M 5ml E	8.4	68.6502	0.0401	38'00" 55.9~99.7 度	0.05
0.05M 5ml F	9.4	69.5032	0.038	21'38" 55.2~98.3 度	0.05
0.1M 10ml G	9	69.6201	69.4652	34min 56~98.3 度	0.20
0.1M 19ml H	0	69.6615	68.6101	39'04" 98.9~98.6 度	0.34

蒸

我蒸餾的末溫，是蒸乾時的溫度，根據資料顯示，推知殘留的硫酸銅固體，尚有 1~3 個結晶水在裡頭。因為水不和丙酮共沸，所以未能提高蒸餾法的效率，在實驗的過程中，我發現很難將固體從蒸餾瓶取出。在兩相比較下，我決定就本實驗的 A,B,C 組，也就是以過濾的方式，做進一步的推展。

(三)實驗三(過濾法)：

1、因為我不知到不同濃度什麼時候會出現沉澱，所以我取了五個濃度，分 A,B,C 三次實驗，將剛出現沉澱物所滴定的體積記錄下來，為了準確發現沉澱物的出現，我在鐵架旁邊加裝了手電筒，向著光源看，可很快發現沉澱，其過程讓我頗困擾的是，當溶液變為膠體溶液時，懸浮物費了我好大的勁，才確定那到底是不是沉澱，因為多數的懸浮物因顆粒過小，而不至於構成沉澱。滴定丙酮量如表 2：

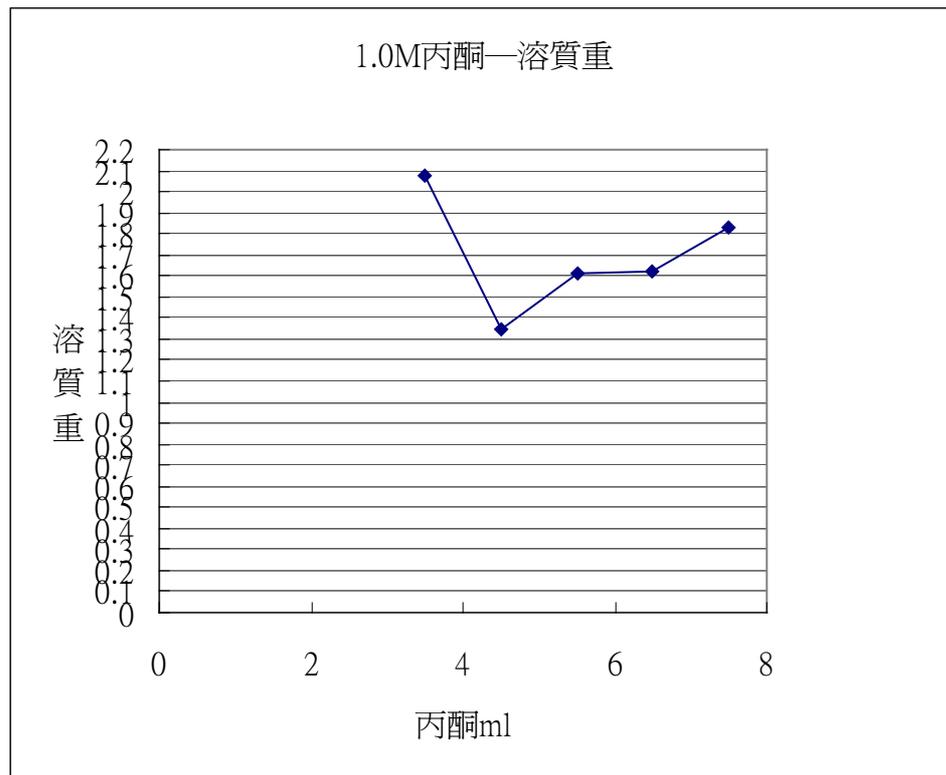
濃度 M	A	B	C
1M	3.5	2.1	1.2
0.5M	4.5	5.0	2.8
0.1M	7.3	8.0	6.7
0.05M	11.3	10.6	9.5
0.01M	17.9	19.2	17.1

2、取 A,B,C 組中沉澱物最多的做起點，做五組對照組，每一組所滴定的丙酮體積加 1ml。

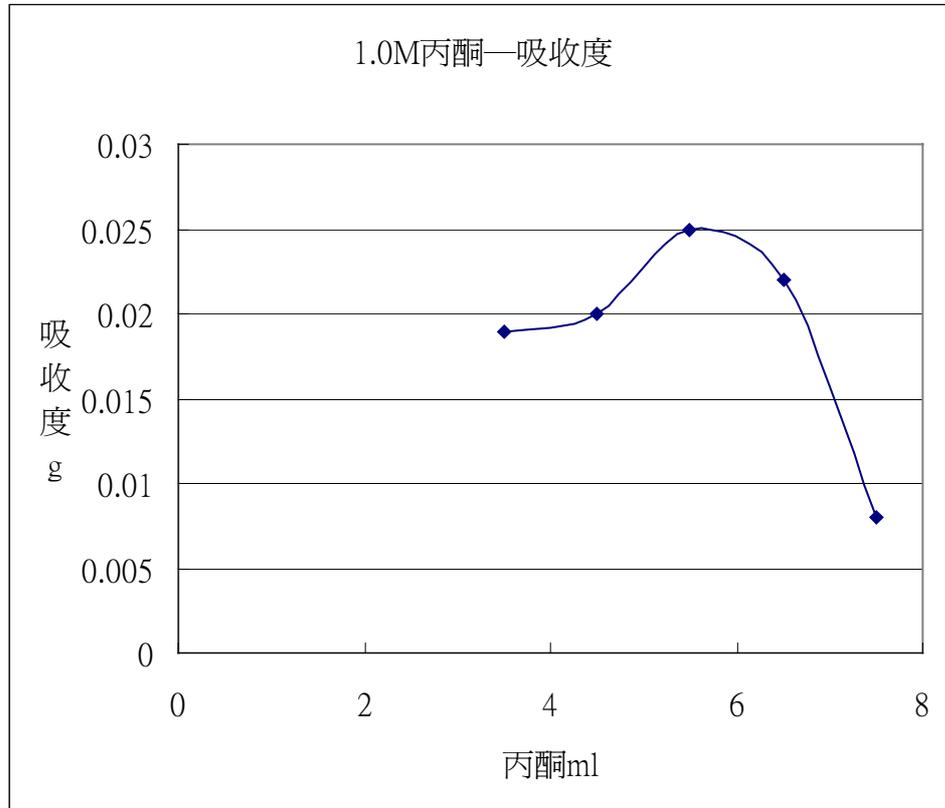
(1) 1.0M 硫酸銅水溶液滴定丙酮靜置一天後再過濾、分析光譜作成表 3：

1.0M	溶液重 g	丙酮體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	丙酮體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	11.49	3.5	2.0741	14.53	0.019	0.07	92.575	0.29	0.055
B	11.49	4.5	1.3491	8.95	0.02	0.10	89.85	0.22	0.07
C	11.49	5.5	1.6157	10.18	0.025	0.14	86.36	0.18	0.088
D	11.49	6.5	1.621	9.73	0.022	0.13	87.13	0.15	0.078
E	11.49	7.5	1.8267	10.46	0.008	0.05	94.75	0.13	0.03

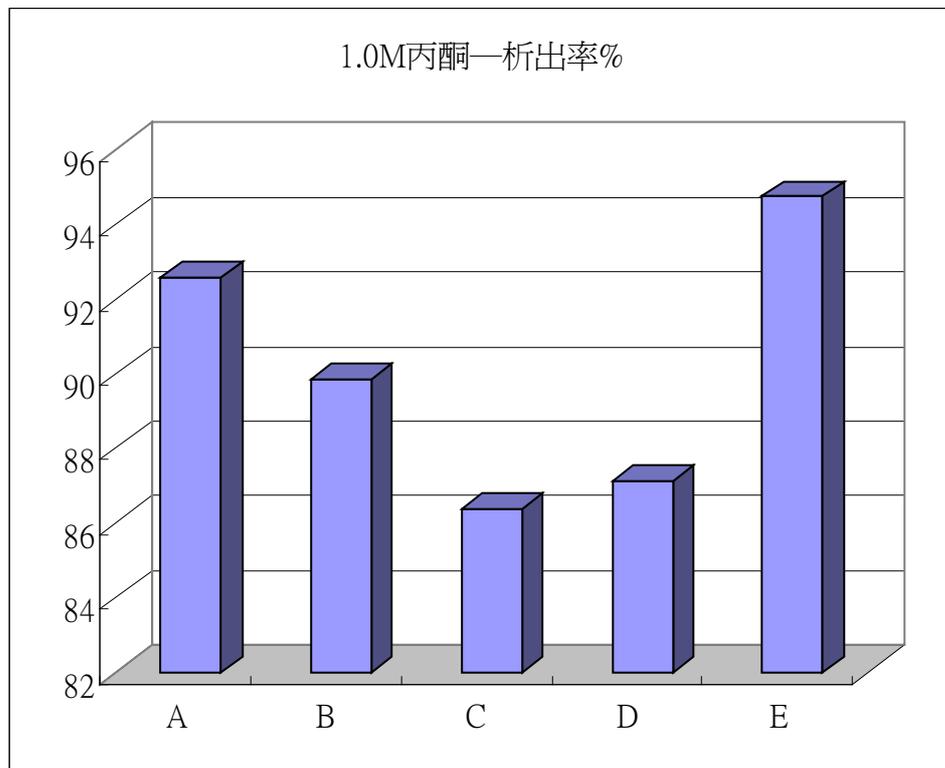
1.0M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與析出溶質重的關係如圖 1-1：



1.0M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 1-2：



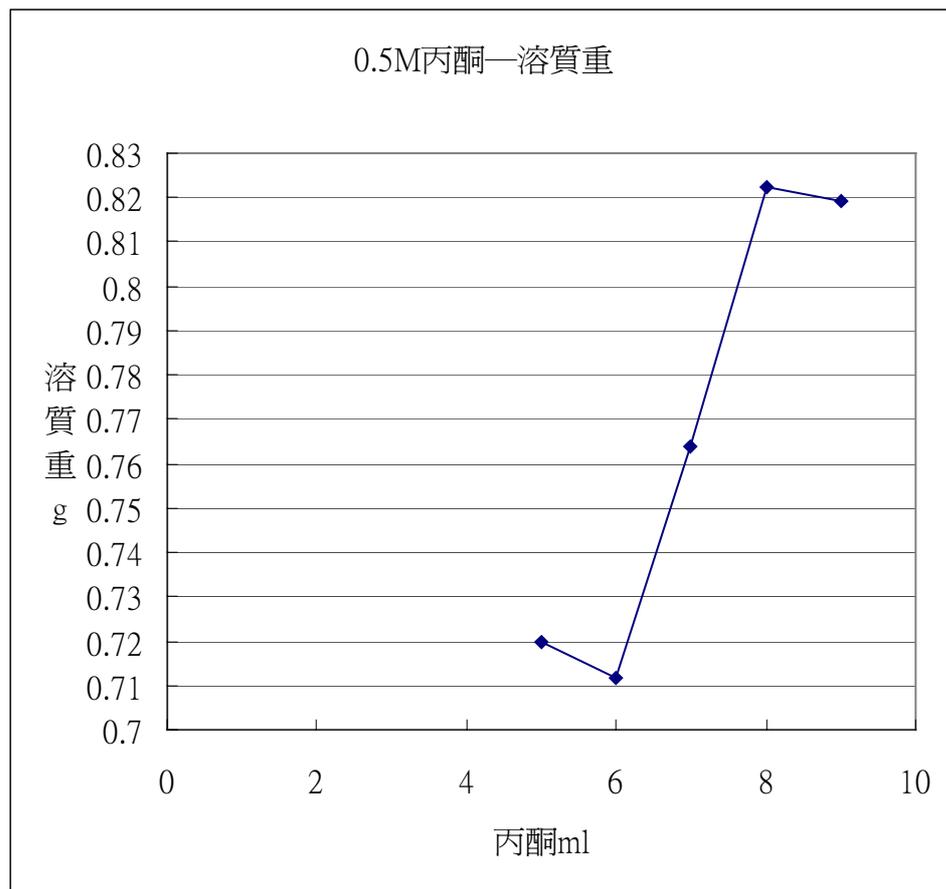
1.0M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積五組對照組的析出率比較如圖 1-3：



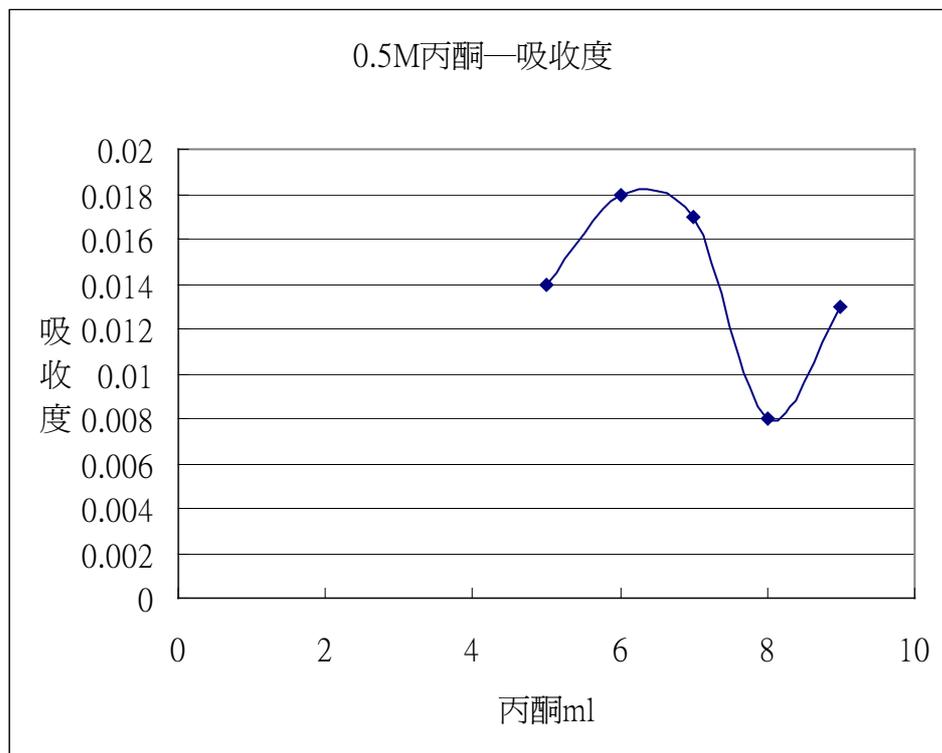
(2) 0.5M 硫酸銅水溶液滴定丙酮靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 4：

0.5M	溶液重 g	丙酮體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	丙酮體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	10.77	5	0.7198	4.88	0.014	0.08	85	0.20	0.05
B	10.77	6	0.7116	4.58	0.018	0.10	79.2	0.17	0.065
C	10.77	7	0.7639	4.67	0.017	0.10	79.6	0.14	0.06
D	10.77	8	0.8222	4.80	0.008	0.05	89.2	0.13	0.03
E	10.77	9	0.819	4.57	0.013	0.09	81.38	0.11	0.049

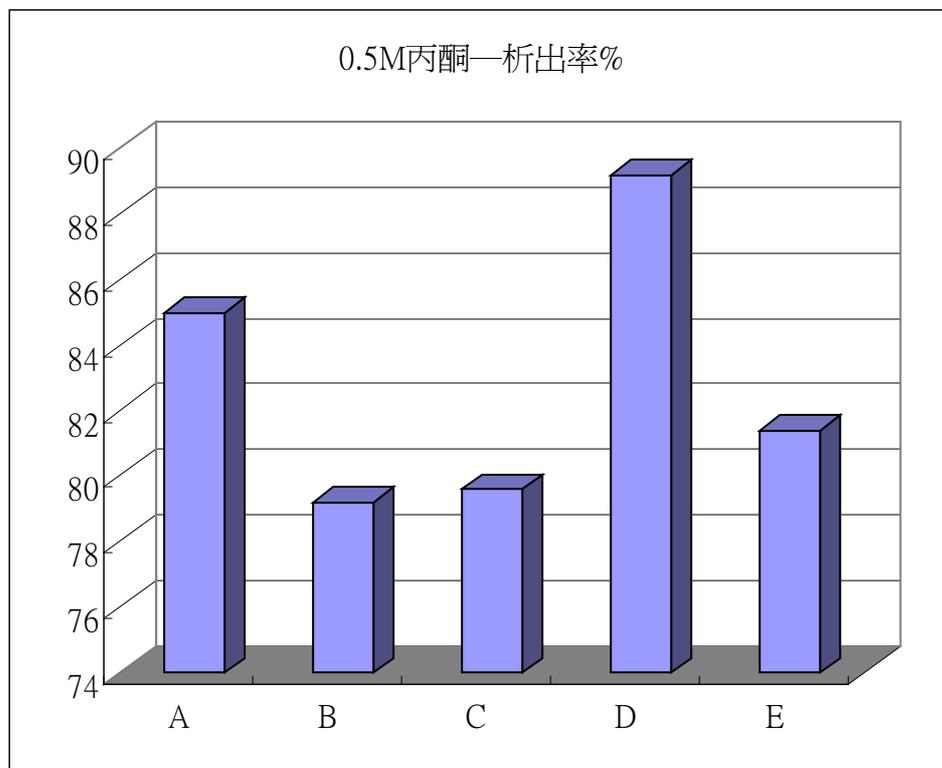
0.5M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與析出溶質重的關係如圖 2-1：



1.0M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 2-2：



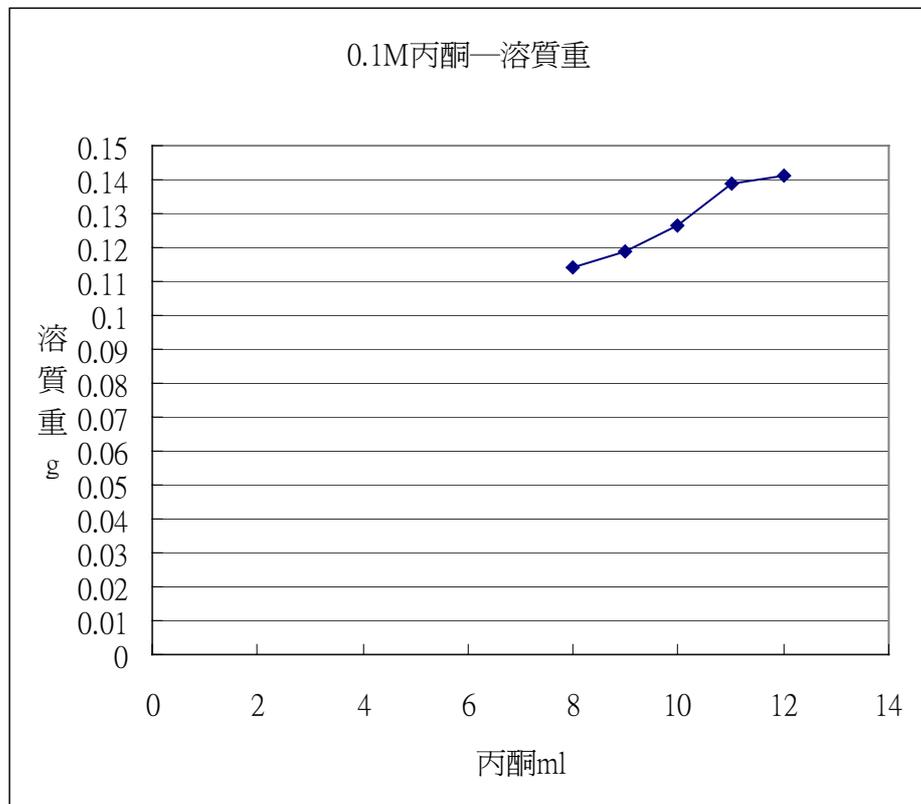
0.5M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積五組對照組的析出率比較如圖 2-3：



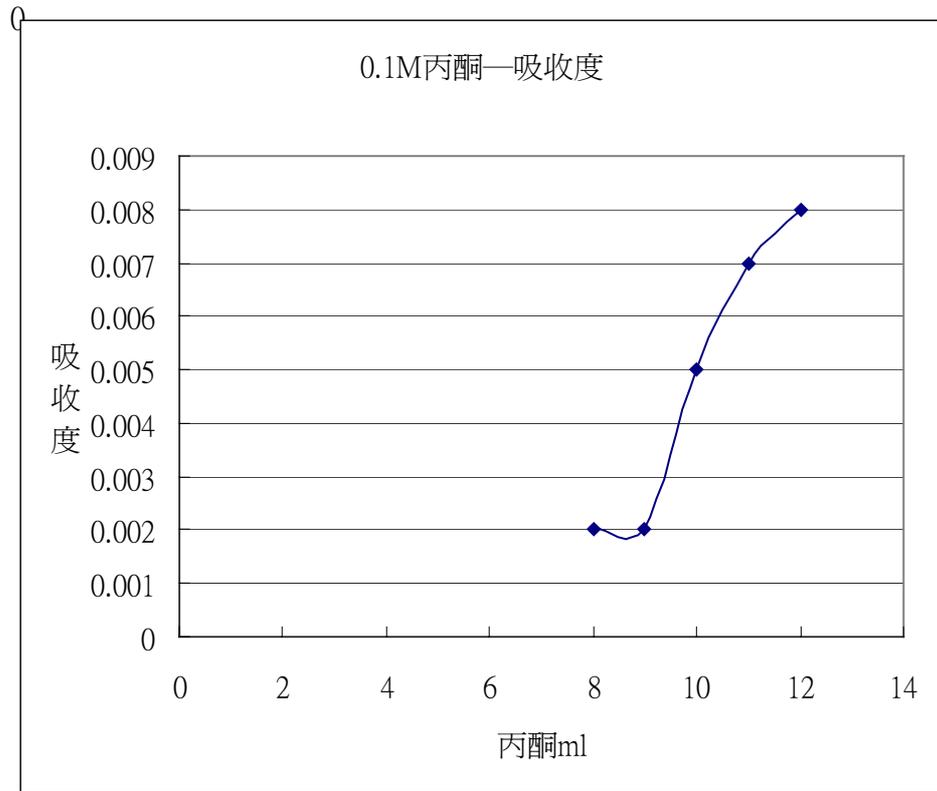
(3) 0.1M 硫酸銅水溶液滴定丙酮靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 5：

0.1M	溶液重 g	丙酮體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	丙酮體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	10.09	8	0.1144	0.70	0.002	0.01	91	0.13	0.005
B	10.09	9	0.1188	0.69	0.002	0.01	90.5	0.11	0.005
C	10.09	10	0.1264	0.70	0.005	0.04	60	0.10	0.02
D	10.09	11	0.139	0.74	0.007	0.06	41.2	0.09	0.028
E	10.09	12	0.1409	0.72	0.008	0.07	34	0.08	0.03

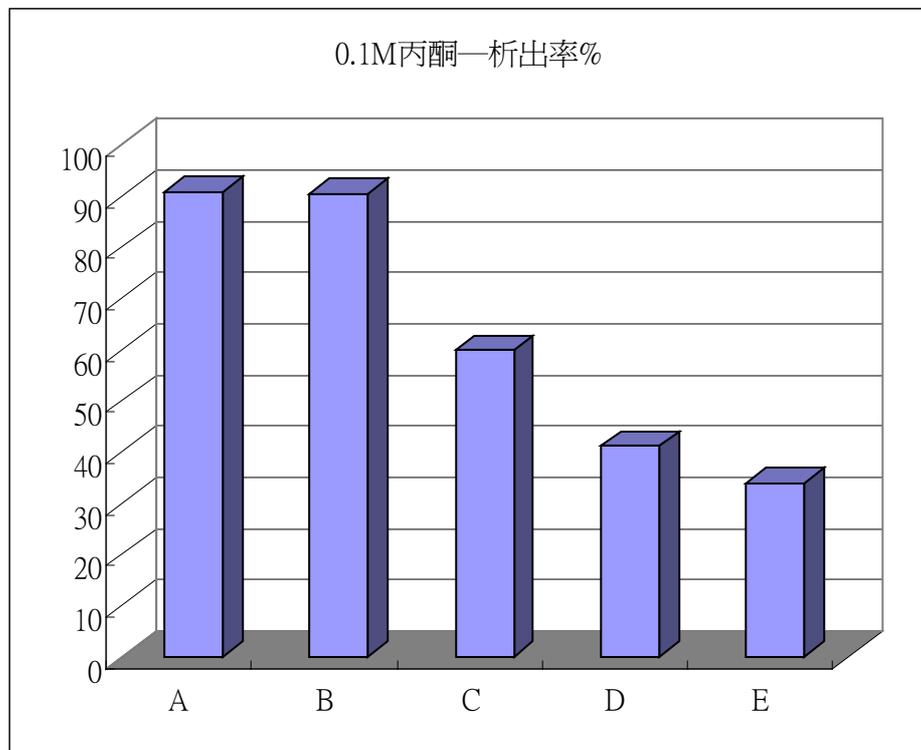
0.1M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與析出溶質重的關係如圖 3-1：



0.1M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 3-2：



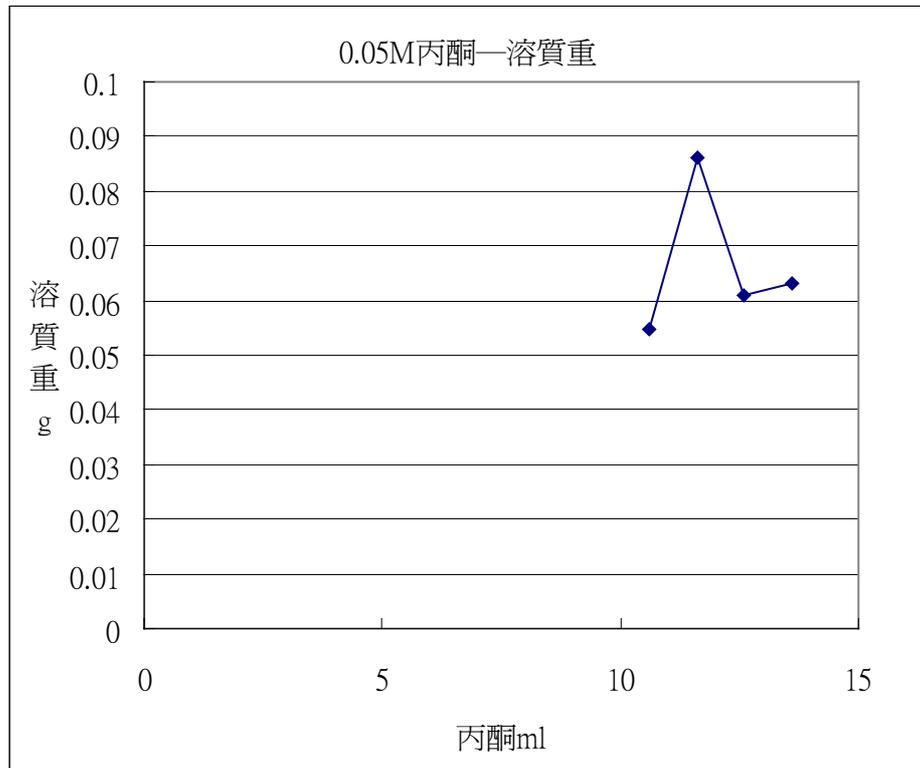
0.1M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積五組對照組的析出率比較如圖 3-3：



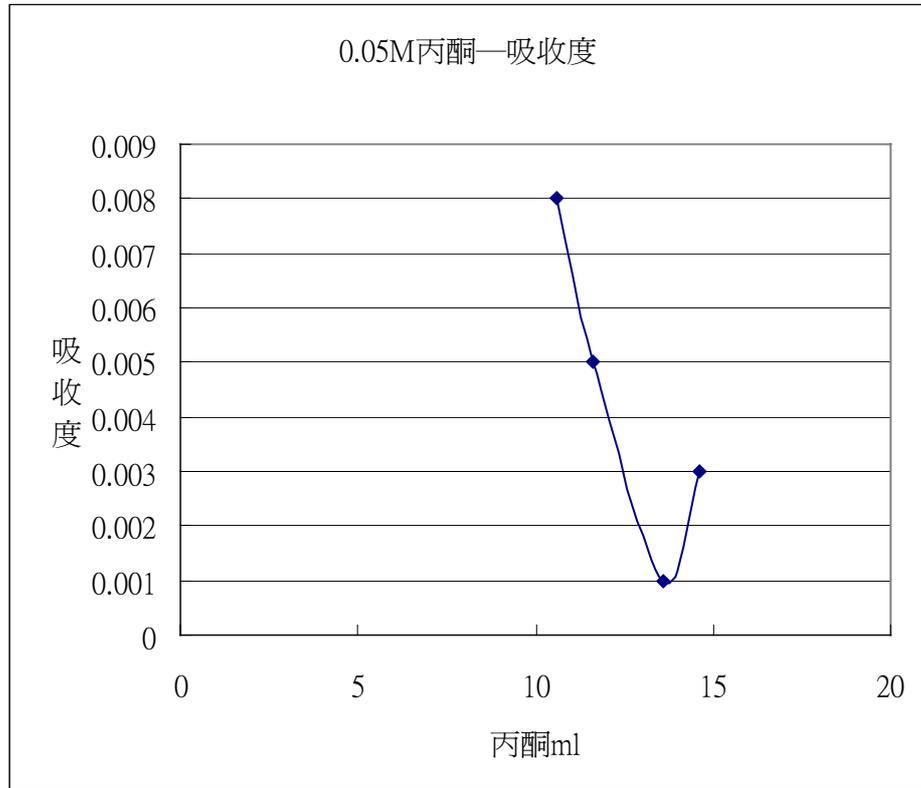
(4) 0.05M 硫酸銅水溶液滴定丙酮靜置一天後再過濾、分析光譜成表 6：

0.05 M	溶液重 g	丙酮體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	丙酮體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	10.03	10.6	0.0547	0.30	0.008	0.06	-23.6	0.09	0.03
B	10.03	11.6	0.0861	0.45	0.005	0.04	13.6	0.09	0.02
C	10.03	12.6	0.0608	0.30	X	X	X	0.08	X
D	10.03	13.6	0.0633	0.30	0.001	0.01	90.56	0.07	0.002
E	10.03	14.6	0.0627	0.29	0.003	0.02	50.8	0.07	0.01

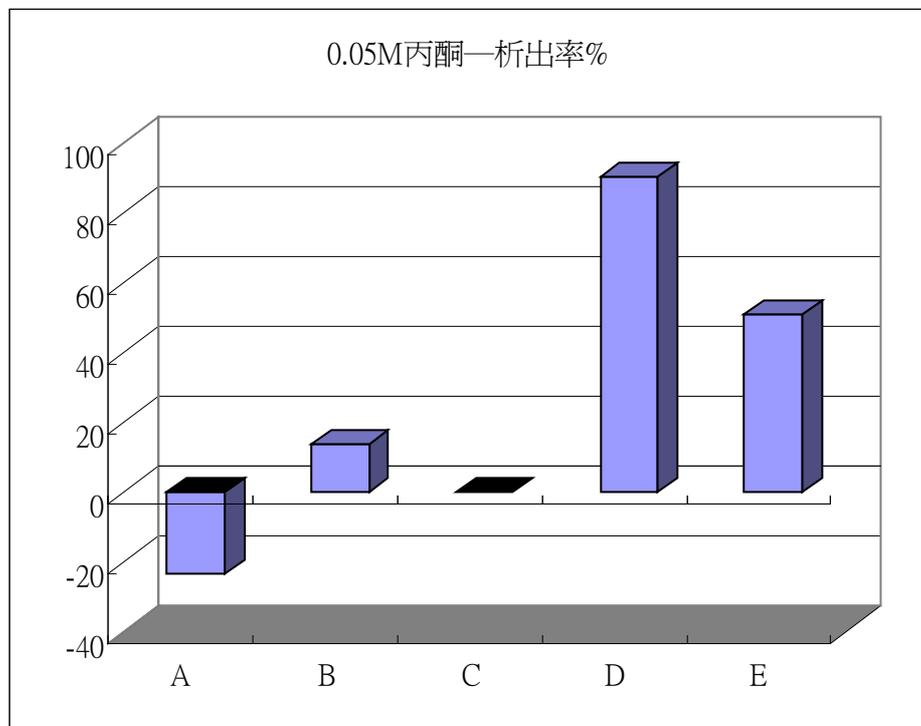
0.05M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與析出溶質重的關係如圖 4-1：



0.05M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 4-2：



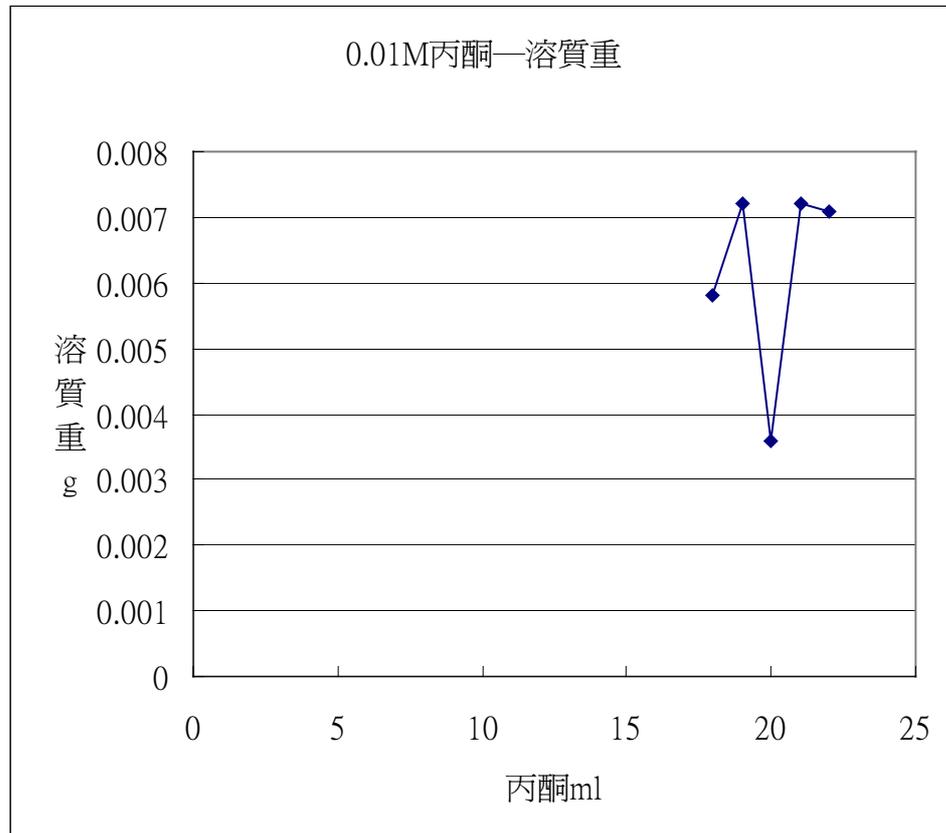
0.05M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積五組對照組的析出率比較如圖 4-3：



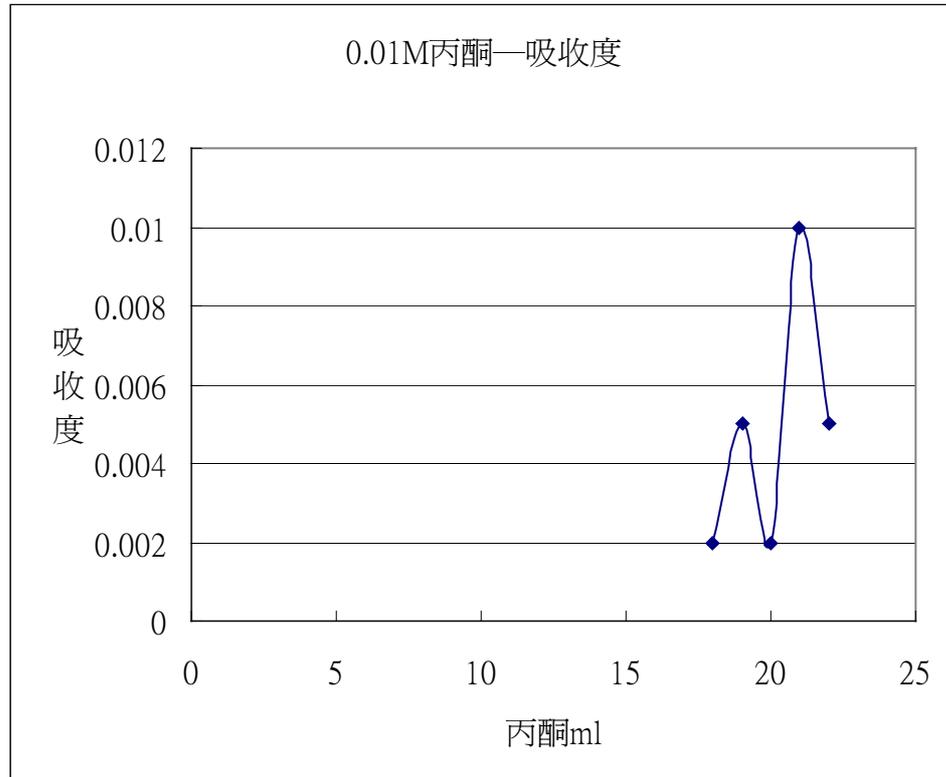
(5) 0.01M 硫酸銅水溶液滴定丙酮靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 7：

0.01 M	溶液重 g	丙酮體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率 %	丙酮體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	9.95	18	0.006	0.02	0.002	0.01	-40	0.06	0.005
B	9.95	19	0.007	0.03	0.005	0.06	-480	0.05	0.02
C	9.95	20	0.004	0.01	0.002	0.02	-50	0.05	0.005
D	9.95	21	0.007	0.03	0.01	0.11	-985	0.05	0.035
E	9.95	22	0.007	0.03	0.005	0.06	-540	0.05	0.02

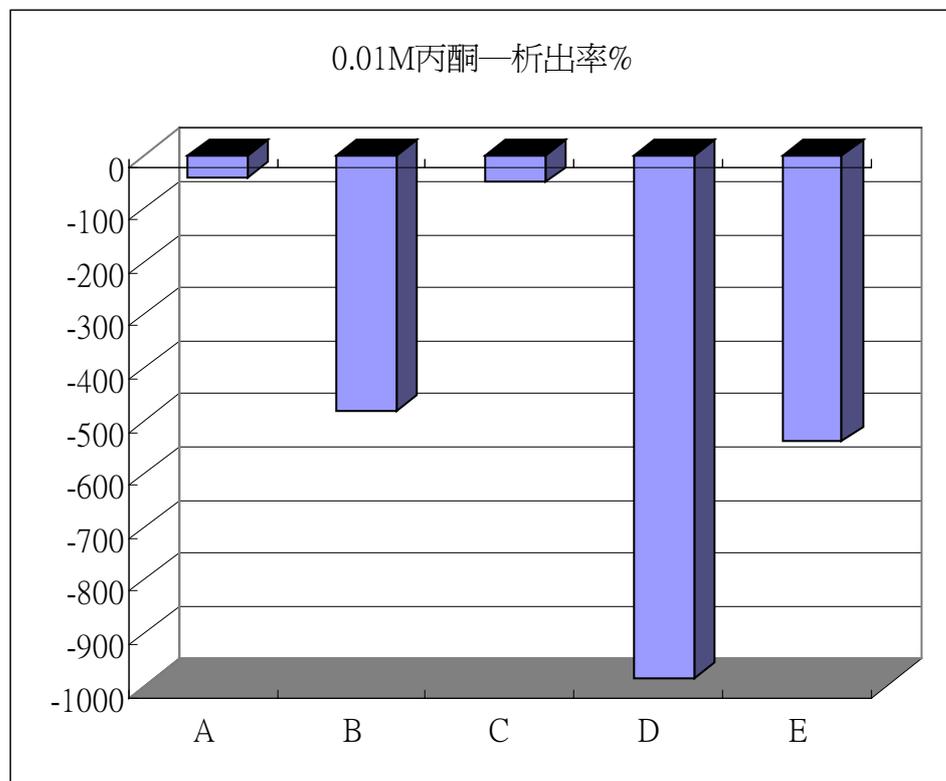
0.01M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與析出溶質重的關係如圖 5-1：



0.01M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 5-2：



0.01M 硫酸銅水溶液滴定丙酮體積五組對照組的析出率比較如圖 5-3：



(6) (1)~(5)總括如

表 8 :

項目	濃度	溶液重 g	丙酮體積 ml	總重 g	濾紙重 g	溶質重 g	P %	溶質殘量
	M							(吸收度)
A	1	11.49	3.5	1.6094	0.2603	1.3491	10.47	0.019
	0.5	10.77	5	0.9564	0.2366	0.7198	5.64	0.014
	0.1	10.09	8	0.3489	0.2345	0.1144	0.86	0.008
	0.05	10.03	10.6	0.2967	0.242	0.0547	0.38	0.008
	0.01	9.95	18	0.2353	0.2295	0.0058	0.034	0.01
B	1	11.49	4.5	1.8738	0.2581	1.6157	12.16	0.02
	0.5	10.77	6	0.9532	0.2416	0.7116	5.4	0.018
	0.1	10.09	9	0.3507	0.2319	0.1188	0.87	0.007
	0.05	10.03	11.6	0.3034	0.2479	0.0861	0.58	0.005
	0.01	9.95	19	0.2535	0.2463	0.0072	0.041	0.002
C	1	11.49	5.5	2.3399	0.2658	2.0741	15.15	0.025
	0.5	10.77	7	1.01	0.2461	0.7639	5.63	0.017
	0.1	10.09	10	0.3737	0.2473	0.1264	0.9	0.005
	0.05	10.03	12.6	0.3011	0.2403	0.0608	0.4	X
	0.01	9.95	20	0.2453	0.2417	0.0036	0.02	0.005
D	1	11.49	6.5	1.8467	0.2257	1.621	11.5	0.022
	0.5	10.77	8	1.0685	0.2463	0.8222	5.88	0.008
	0.1	10.09	11	0.3668	0.2278	0.139	0.96	0.002
	0.05	10.03	13.6	0.3011	0.2378	0.0633	0.41	0.001
	0.01	9.95	21	0.2603	0.2531	0.0072	0.039	0.002
E	1	11.49	7.5	2.0529	0.2272	1.8267	12.6	0.008
	0.5	10.77	9	1.0566	0.2376	0.819	5.7	0.013
	0.1	10.09	12	0.3907	0.2498	0.1409	0.95	0.002
	0.05	10.03	14.6	0.3111	0.2484	0.0627	0.39	0.003
	0.01	9.95	22	0.2495	0.2424	0.0071	0.038	0.005

從此表可知溶質重並不是很有規則，那是因為不同沉澱物所拉的結晶水數不同的緣故，所以我們又以可見光譜儀分析濾液中的銅離子殘量，並且發現，能高達 98%的去硫酸銅效率，甚至有些溶液以沒有銅離子殘存。

3、爲了多方比較，我又以酒精做溶劑分離的試驗，滴定酒精量如表 9：

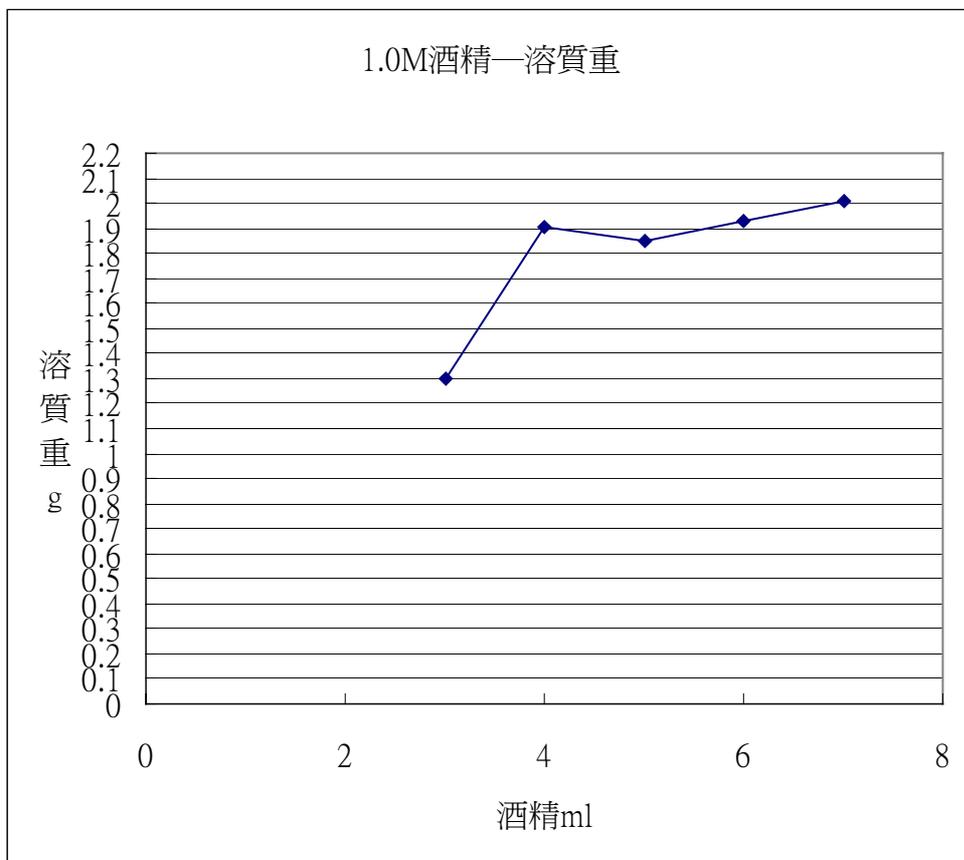
濃度	A	B	C
1M	2.0	1.5	3
0.5M	2.5	3.1	4
0.1M	7.9	10.0	11
0.05M	16.6	17.0	18
0.01M	X	X	X

同樣取 A,B,C 組中沉澱物最多的做起點，做 4 組對照組(因爲硫酸銅微溶於酒精，所以當濃度太稀的硫酸銅溶液，需加大量的酒精才會沉澱，所以 0.001M 沒有做)，每一組所滴定的酒精體積加 1ml。

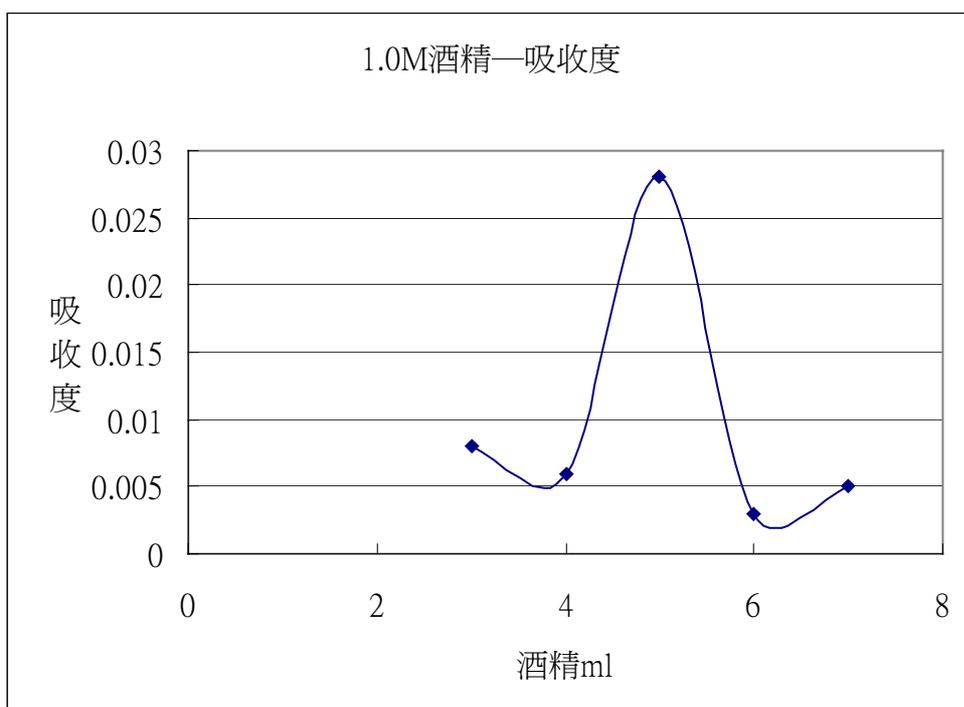
1.0M 硫酸銅水溶液滴定酒精靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 10：

1.0 M	溶液重 g	酒精體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	酒精體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	11.49	3	1.297	9.37	0.008	0.04	96.1	0.33	0.03
B	11.49	4	1.903	13.02	0.006	0.03	96.64	0.25	0.024
C	11.49	5	1.848	12.01	0.028	0.15	85	0.20	0.1
D	11.49	6	1.928	11.92	0.003	0.02	98.4	0.17	0.01
E	11.49	7	2.011	11.87	0.005	0.03	96.6	0.14	0.02

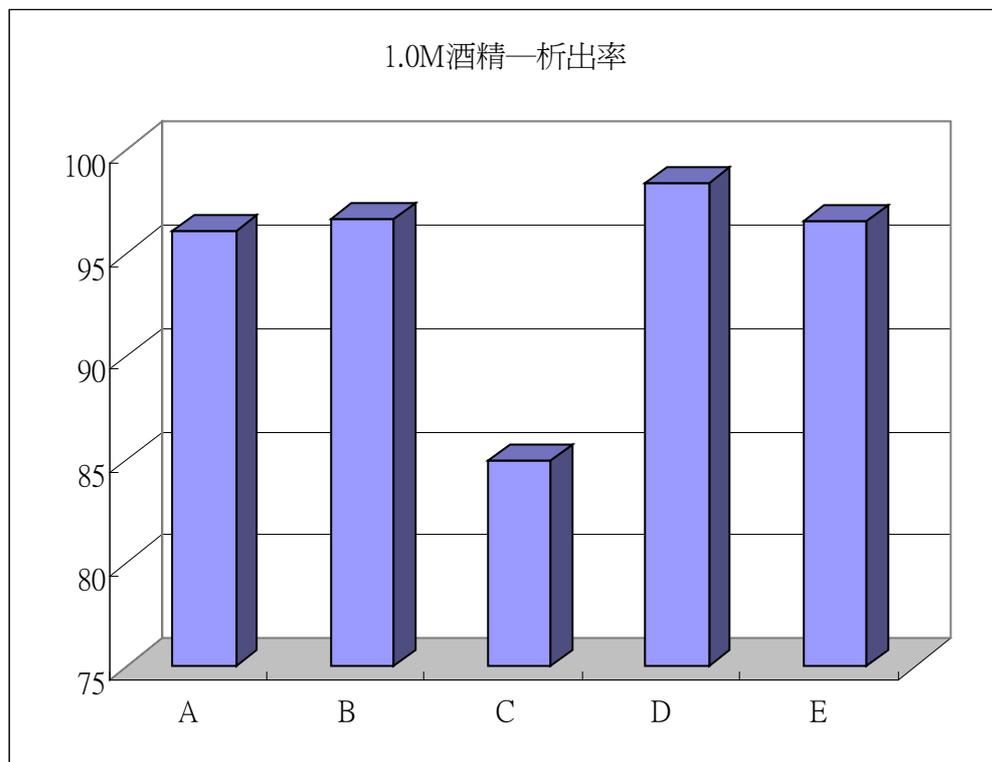
1.0M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與析出溶質重的關係如圖 6-1：



1.0M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 6-2：



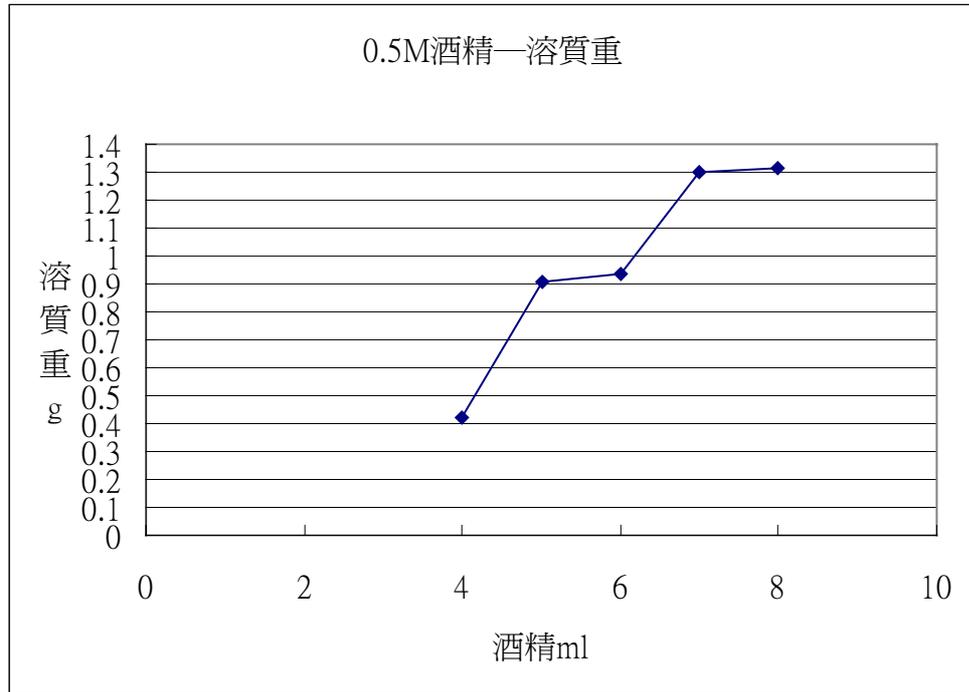
1.0M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積五組對照組的析出率比較如圖 6-3：



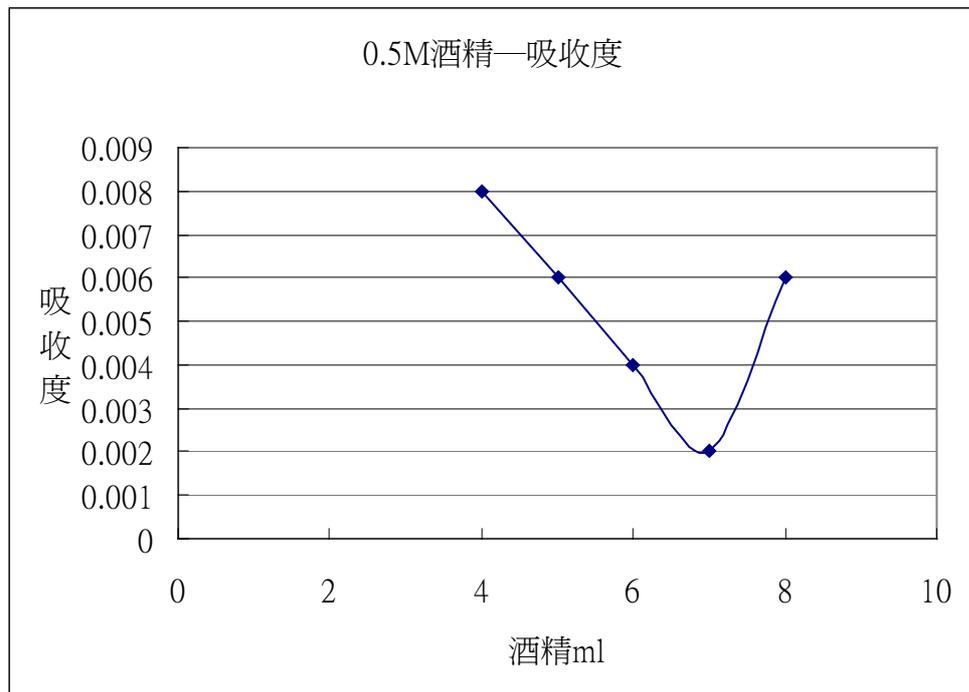
(2) 0.5M 硫酸銅水溶液滴定酒精靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 11：

0.5 M	溶液重 g	酒精體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率 %	酒精體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	10.77	4	0.422	3.04	0.008	0.04	91.6	0.25	0.03
B	10.77	5	0.909	6.20	0.006	0.04	92.5	0.20	0.025
C	10.77	6	0.938	6.07	0.004	0.02	95.2	0.17	0.015
D	10.77	7	1.301	8.02	0.002	0.01	98.3	0.14	0.005
E	10.77	8	1.316	7.74	0.006	0.05	91	0.13	0.025

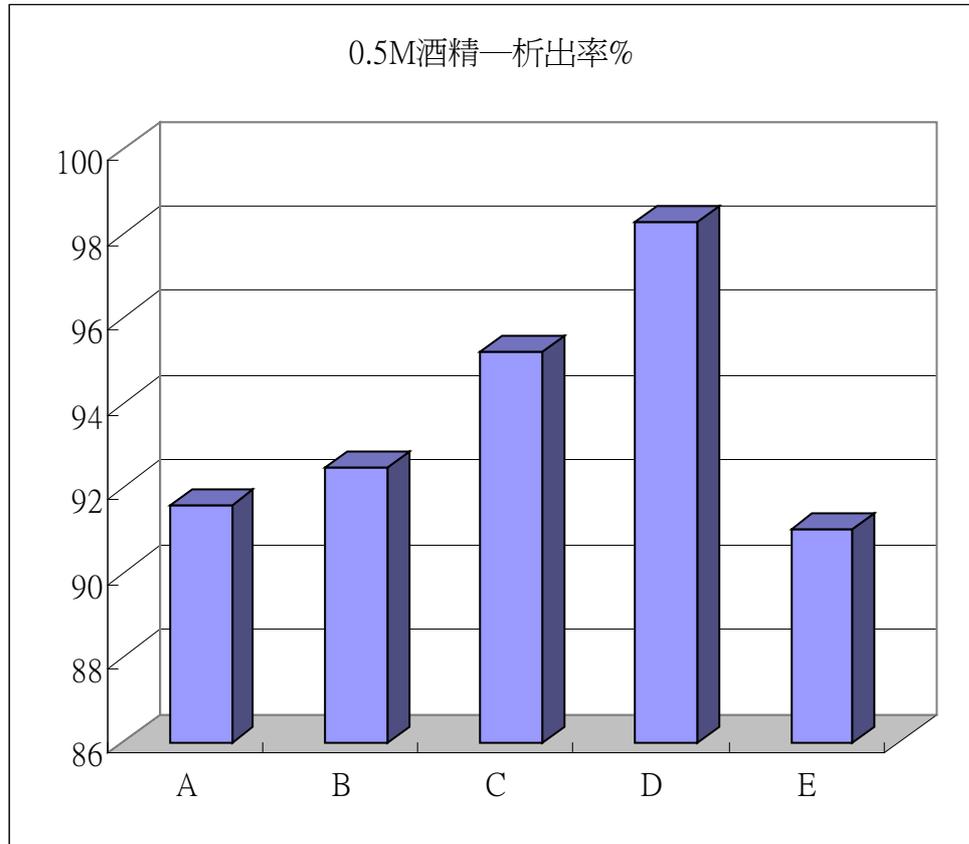
0.5M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與析出溶質重的關係如圖 7-1：



0.5M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 7-2：



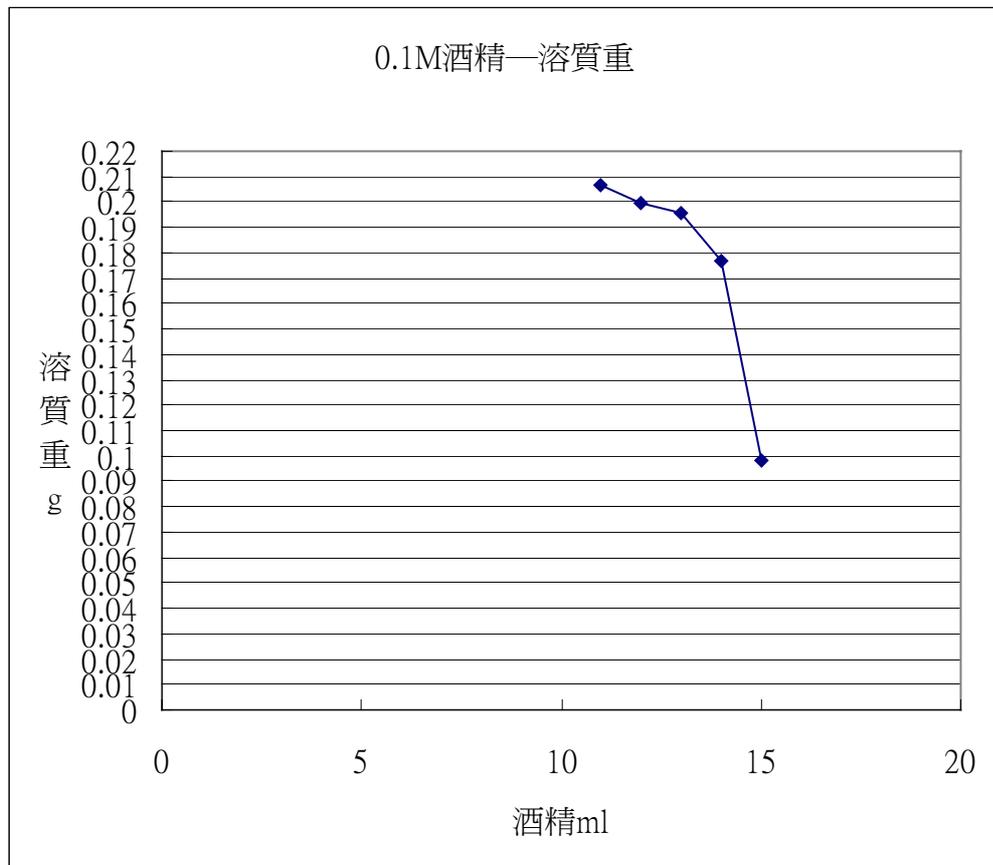
0.5M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積五組對照組的析出率比較如圖 7-3：



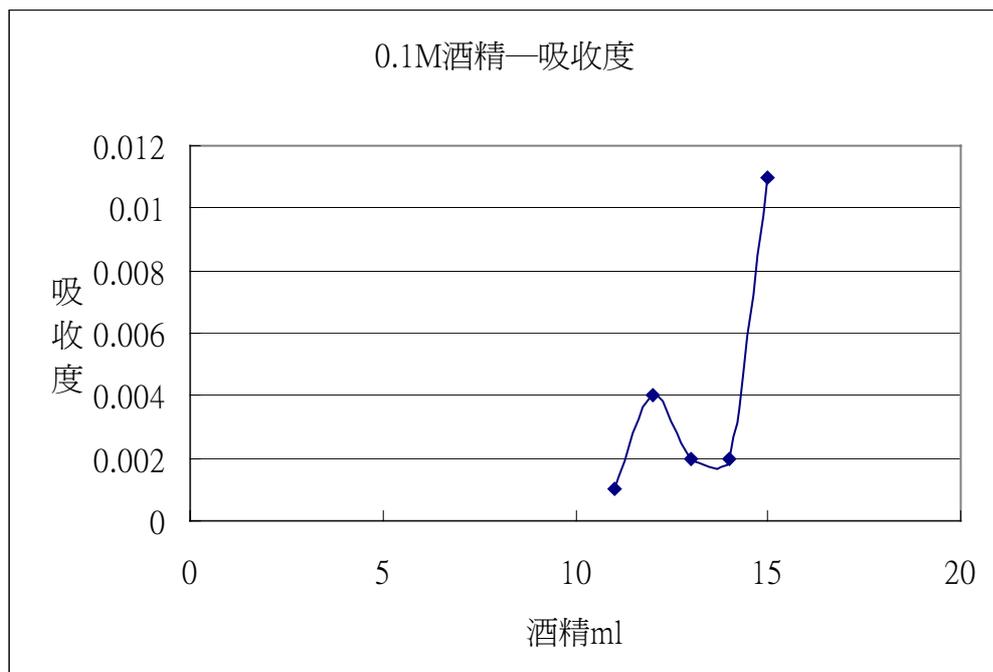
(3) 0.1M 硫酸銅水溶液滴定酒精靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 12：

0.1M	溶液重 g	酒精體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	酒精體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	10.09	11	0.207	1.11	0.001	0.004	95.8	0.09	0.002
B	10.09	12	0.2	1.03	0.004	0.03	67	0.08	0.015
C	10.09	13	0.196	0.97	0.002	0.01	88.5	0.08	0.005
D	10.09	14	0.177	0.84	0.002	0.01	88	0.07	0.005
E	10.09	15	0.098	0.45	0.011	0.10	0	0.07	0.04

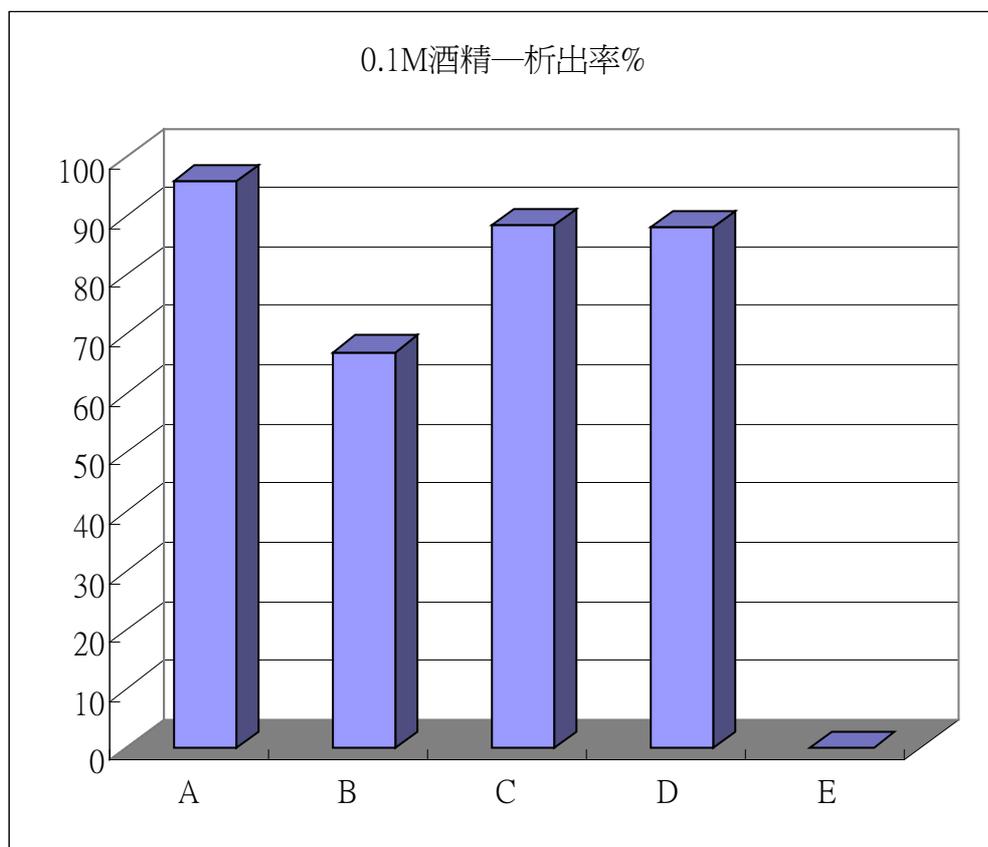
0.1M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與析出溶質重的關係如圖 8-1：



0.1M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 8-2：



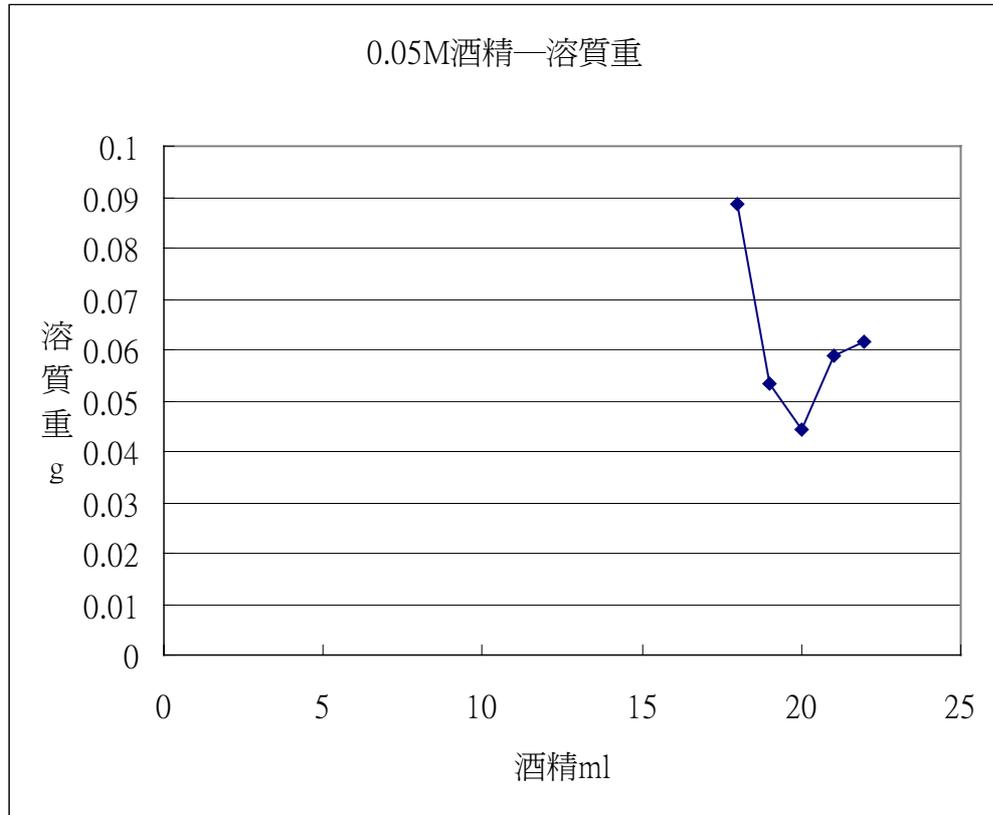
0.1M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積五組對照組的析出率比較如圖 8-3：



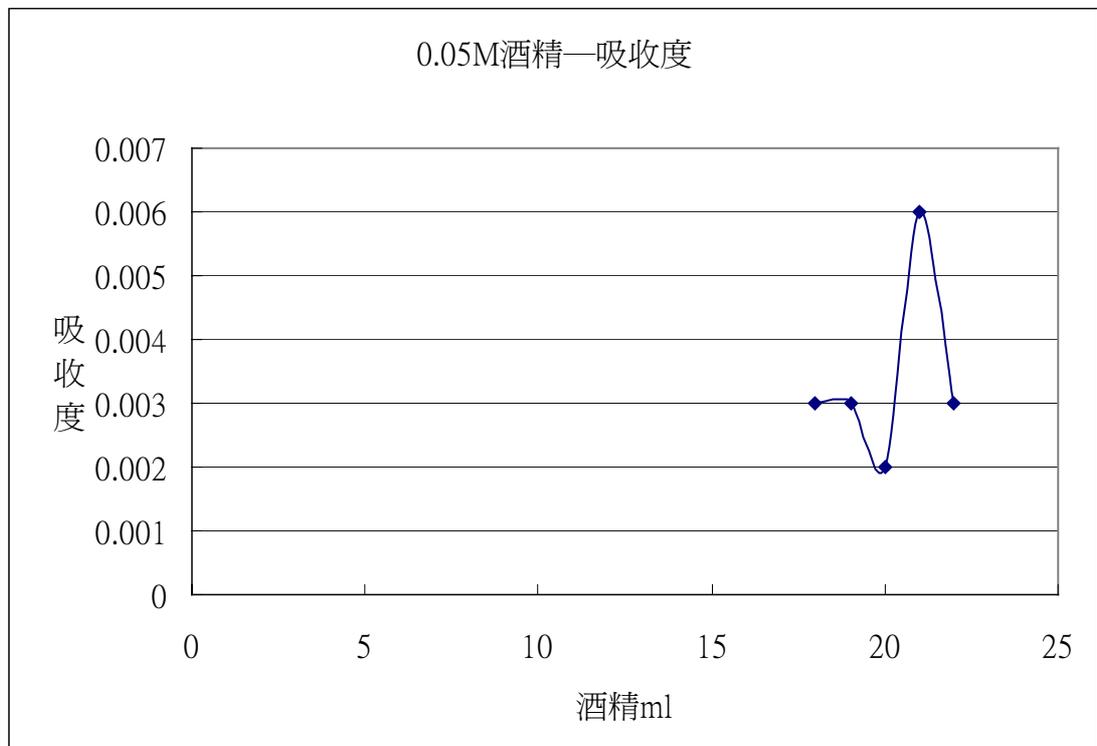
(4)0.05M 硫酸銅水溶液滴定酒精靜置一天後再過濾、分析光譜做成表 13：

0.05M	溶液重 g	酒精體積 ml	溶質重 g	P%	吸收度	稀釋濃度 M	析出率%	酒精體積倒數 1/ml	濾液濃度 M
A	10.03	18	0.089	0.37	0.003	0.03	44	0.06	0.01
B	10.03	19	0.054	0.22	0.003	0.03	42	0.05	0.01
C	10.03	20	0.044	0.17	0.002	0.02	70	0.05	0.005
D	10.03	21	0.059	0.22	0.006	0.08	-55	0.05	0.025
E	10.03	22	0.062	0.23	0.003	0.03	36	0.05	0.01

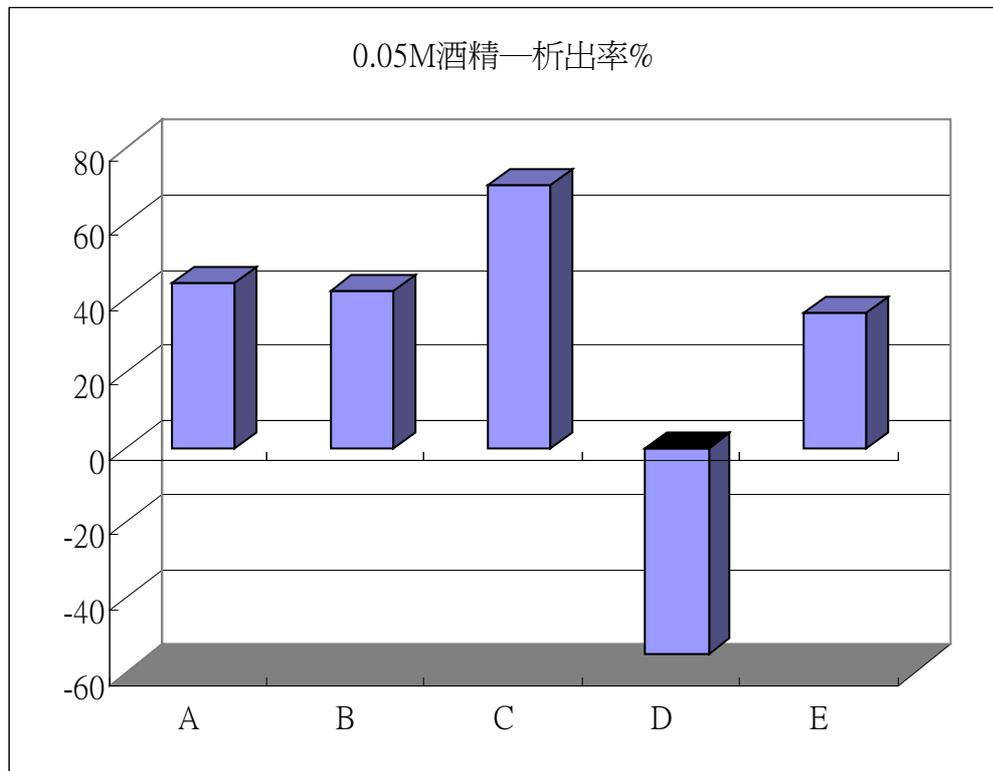
0.05M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與析出溶質重的關係如圖 9-1：



0.05M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積與濾液光譜吸收度的關係如圖 9-2：



0.05M 硫酸銅水溶液滴定酒精體積五組對照組的析出率比較如圖 9-3：



(5)(1)~(4)總括如
表 14：

項目	濃度 M	溶液 重 g	酒精 體積 ml	總重 g	濾紙重 g	溶質重 g	P %	溶質殘量(吸收 度)
A	1	11.49	3	1.5325	0.236	1.2965	9.37	0.008
	0.5	10.77	4	0.6551	0.2329	0.4222	3.04	0.008
	0.1	10.09	11	0.3404	0.242	0.0984	0.53	0.011
	0.05	10.03	18	0.3268	0.238	0.0888	0.37	0.003
B	1	11.49	4	2.1435	0.2406	1.9029	13.02	0.006
	0.5	10.77	5	1.1663	0.2572	0.9091	6.2	0.006
	0.1	10.09	12	0.4128	0.2361	0.1767	0.91	0.002
	0.05	10.03	19	0.3019	0.2484	0.0535	0.22	0.003
C	1	11.49	5	2.0889	0.2412	1.8477	12.01	0.028
	0.5	10.77	6	1.1895	0.2515	0.938	6.07	0.004
	0.1	10.09	13	0.4359	0.2404	0.1955	0.97	0.002
	0.05	10.03	20	0.2891	0.2447	0.0444	0.17	0.002
D	1	11.49	6	2.167	0.2394	1.9276	11.92	0.003
	0.5	10.77	7	1.545	0.2436	1.3014	8.02	0.002
	0.1	10.09	14	0.4399	0.2402	0.1997	0.95	0.004
	0.05	10.03	21	0.2946	0.2356	0.059	0.22	0.006
E	1	11.49	7	2.2456	0.2342	2.0114	11.87	0.005
	0.5	10.77	8	1.5538	0.2376	1.3162	7.74	0.006
	0.1	10.09	15	0.4493	0.2427	0.2066	0.95	0.001
	0.05	10.03	22	0.3004	0.2387	0.0617	0.23	0.003

從上表可知溶質重並不是很有規則，那是因為不同沉澱物所拉的結晶水數不同的緣故，所以我們又以可見光譜儀分析濾液中的銅離子殘量，並且發現，能高達 98%的去硫酸銅效率，甚至有些溶液以沒有銅離子殘存。

- 4、加入丙酮或酒精，如果不攪拌或攪拌下後，靜置 24 小時，會有不同的結晶析出，如

表 15：

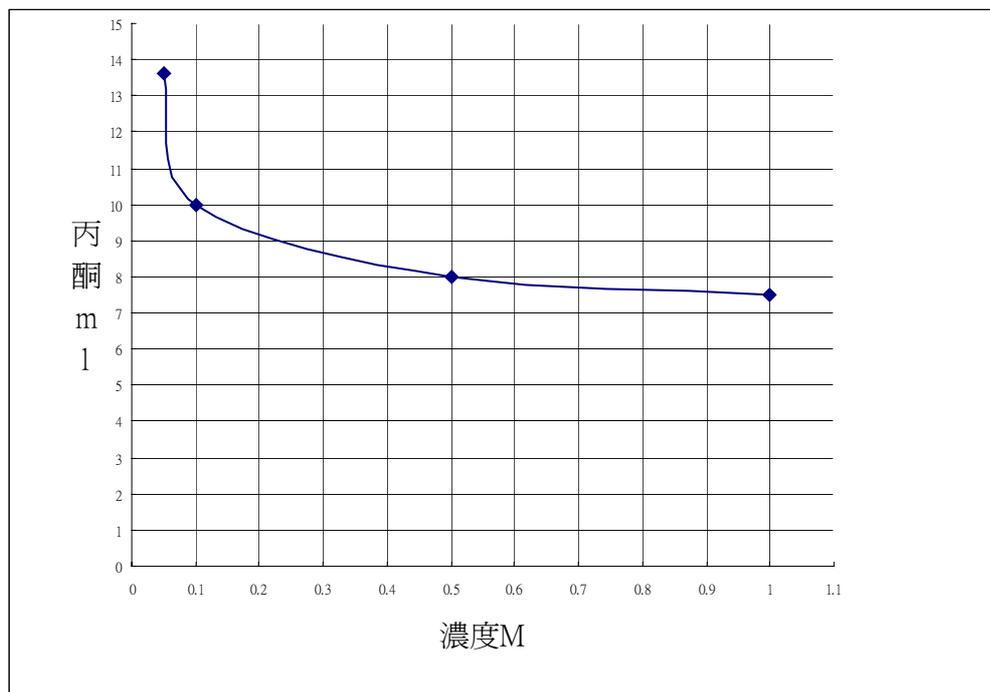
	加入丙酮	加入酒精
不攪拌	小顆粒結晶出現	晶體大又多
攪拌	粉狀	小顆粒結晶出現

因為丙酮(d=0.795)、酒精(d=0.78)所以加入時皆浮在溶液上，而後慢慢溶入水中如同壓汁機一樣，而把硫酸銅一步一步的逼出，形成結晶，以過濾法回收之。

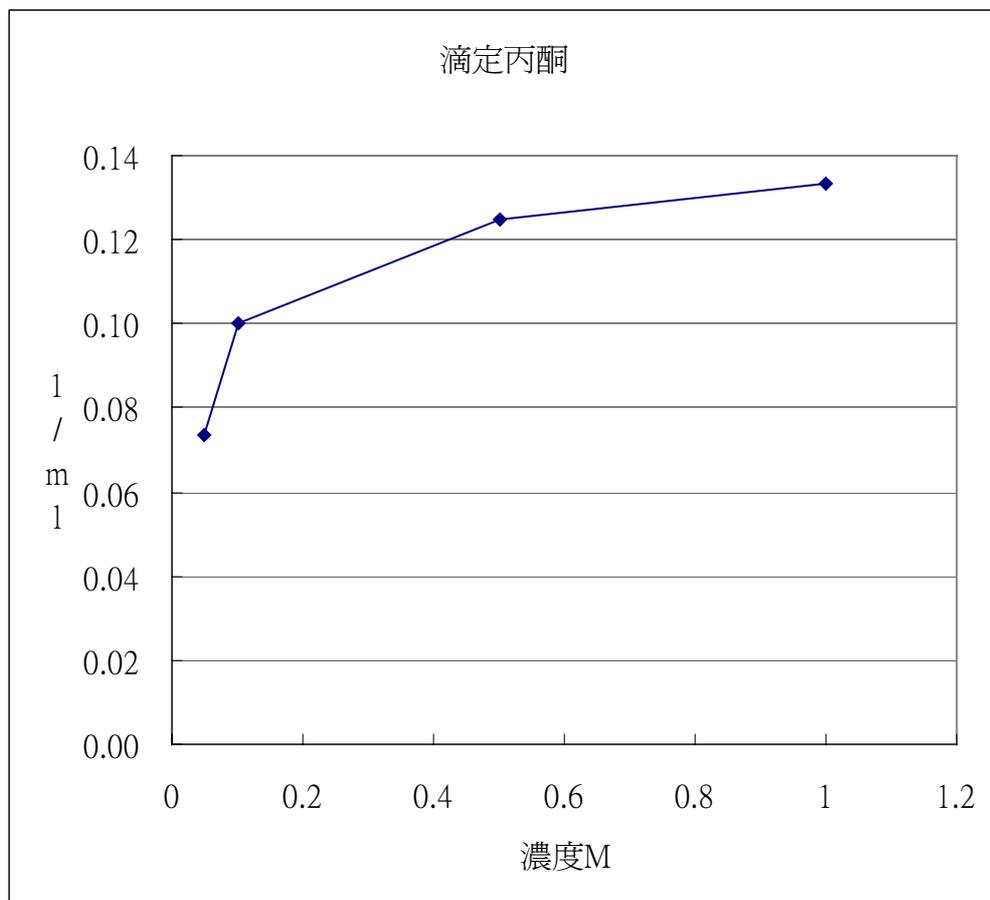
- 5、濃度太低的硫酸銅再以溶劑分離的方式，已有些浪費溶劑，而建議使用 Ba^{2+} 沉澱 SO_4^{2-} 再加 OH^- 沉澱 Cu^{2+} ，如此較合成本。
- 6、對稀薄溶液(0.05M 以下)的硫酸銅溶液的回收率不佳，此乃因水合作用大於離子的結合性，而難以把硫酸銅析出。
- 7、分析實驗滴定丙酮的數據，選出硫酸銅析出效果最好的(吸收度最低者)，作成表 16：

濃度 M	丙酮體 積 ml	丙酮體積倒 數 1/ml	析出率 %	修正丙 酮體積 ml	修正丙酮體 積倒數 1/ml	修正 析出率%
1	7.5	0.13	94.75	7.5	0.13	94.75
0.5	8	0.13	89.2	8.6	0.12	85.3
0.1	10	0.10	91	10	0.10	91
0.05	13.6	0.07	90.56	13.6	0.07	90.6

不同濃度硫酸銅水溶液與滴定丙酮體積的關係如圖 10-1：



不同濃度硫酸銅水溶液與滴定丙酮體積分之一的關係如圖 10-2：



從圖中可知：0.05M 以下的誤差較大，所以略之不計，並在影響析出率不大的情況下，將圖形修正為線性如圖 10-4

圖 10-3 (為修正後不同濃度硫酸銅水溶液滴定丙酮的曲線圖)

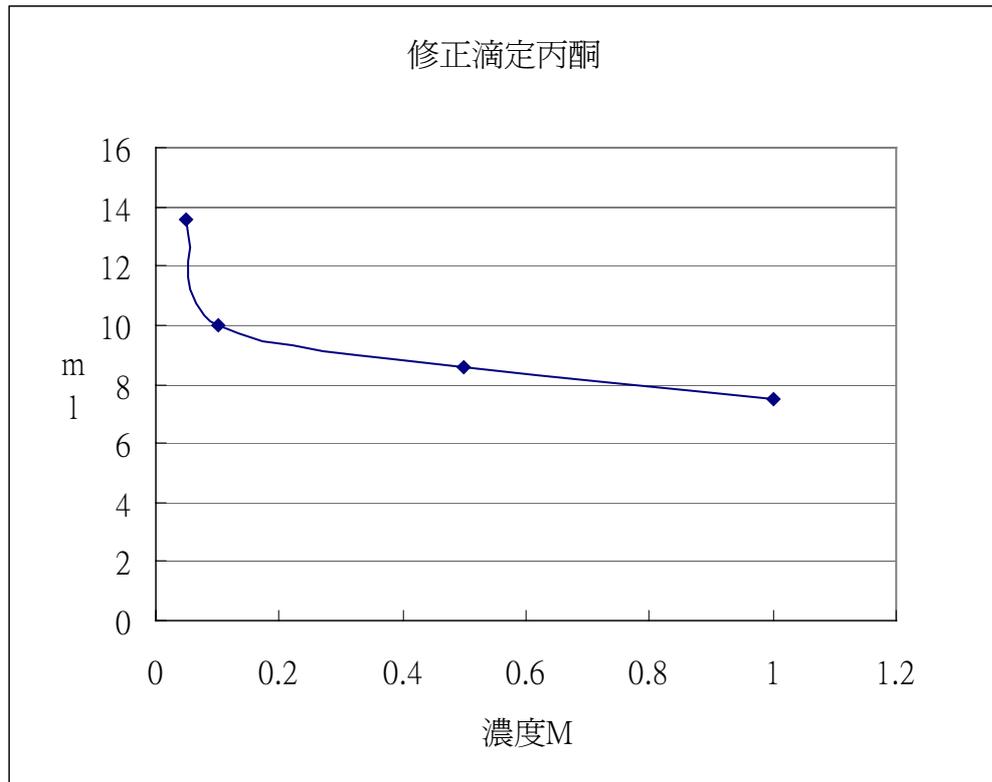
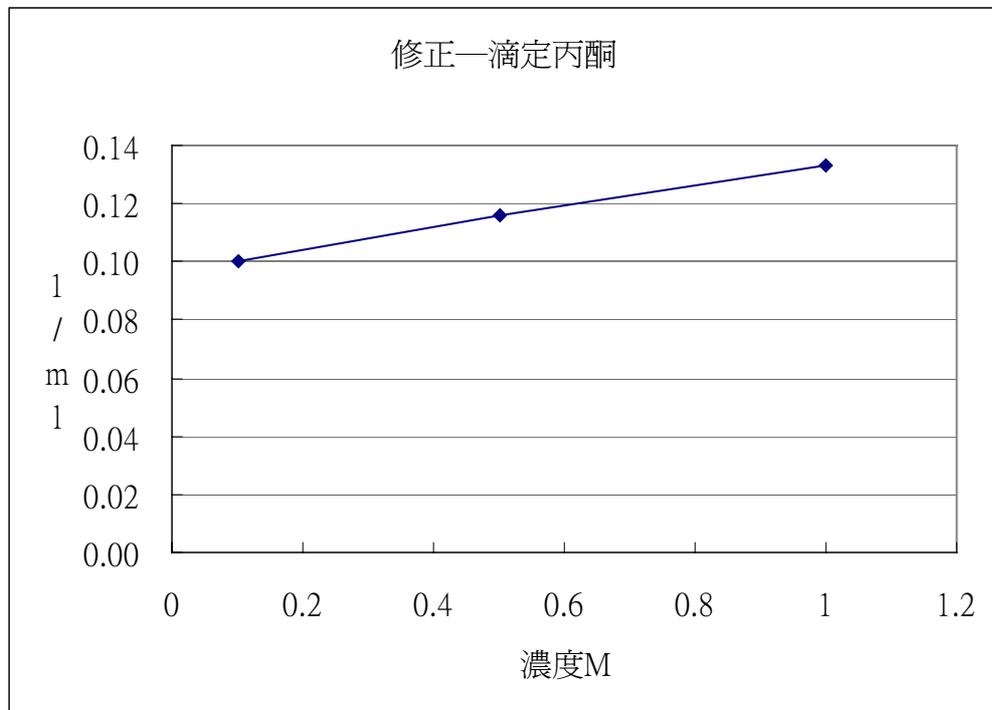


圖 10-4

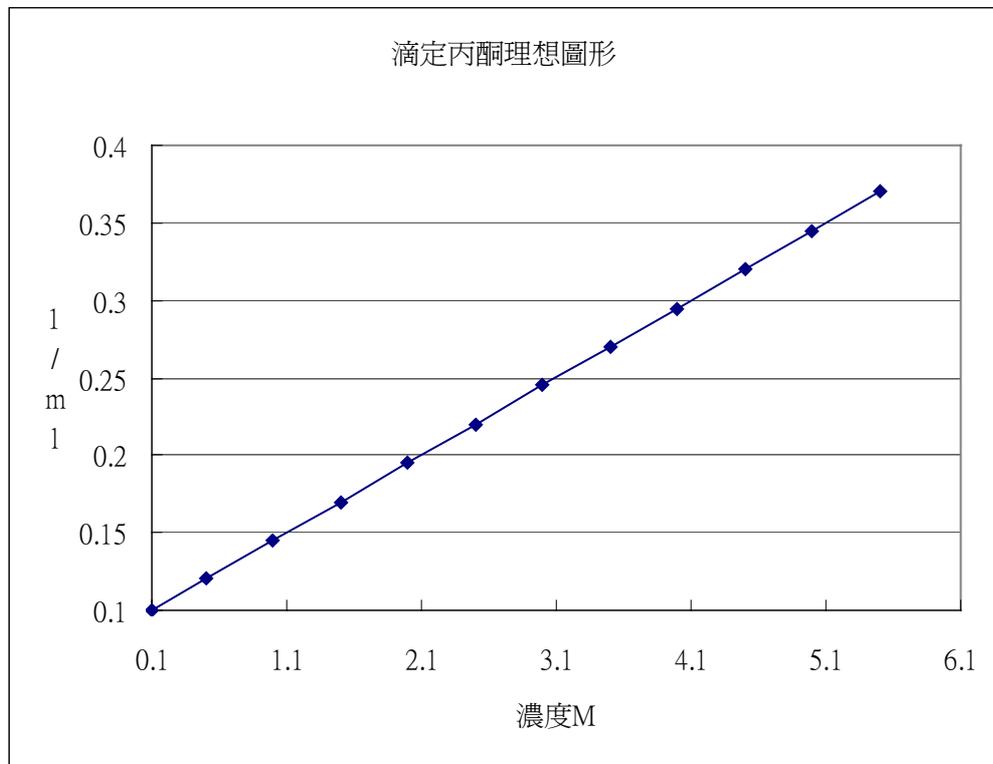


則欲回收在 0.05M 以上濃度的硫酸銅，可帶以下公式：

$$Y(1/\text{滴定丙酮 ml})=0.05X(\text{濃度})+0.095\dots \text{【公式 A】}$$

以此公式算出來從原點出發的線性圖如

圖 10-5：

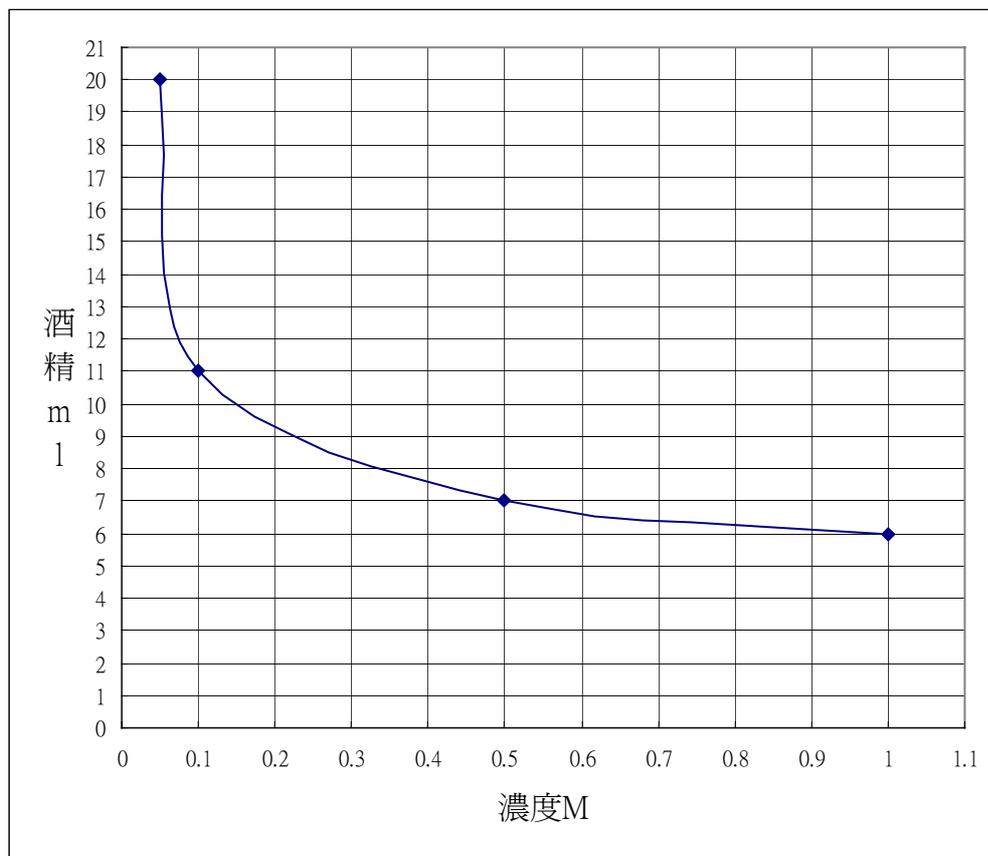


8、分析實驗滴定酒精的數據，選出硫酸銅析出效果最好的(吸收度最低者)，作成表 17：

濃度 M	酒精體積 ml	酒精體積倒數 1/ml	析出率 %	修正酒精體積 ml	修正酒精體積倒數 1/ml	修正析出率 %
1	6	0.17	98.4	6	0.17	98.4
0.5	7	0.14	98.3	7.7	0.13	93.5
0.1	11	0.09	95.8	11	0.09	95.8
0.05	20	0.05	70	20	0.05	70

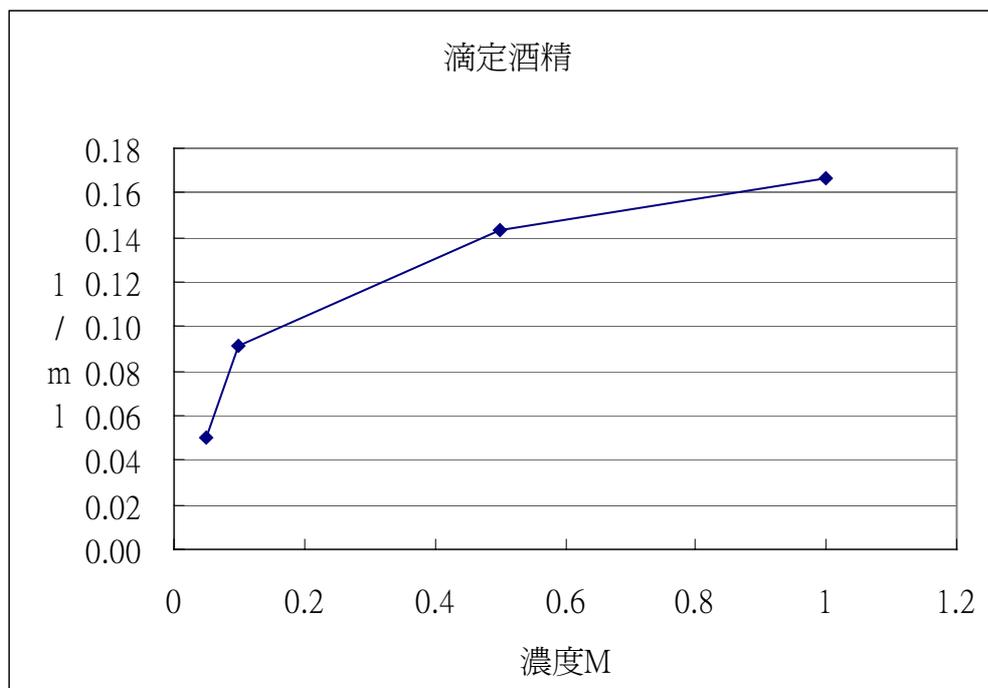
不同濃度硫酸銅水溶液與滴定酒精體積的關係如

圖 11-1：



不同濃度硫酸銅水溶液與滴定酒精體積分之一的關係如

圖 11-2：



從圖中可知：0.05M 以下的誤差較大，所以略之不計，並在影響析出率不大的情況下，將圖形修正為線性如圖 10-4

圖 11-3 (為修正後不同濃度硫酸銅水溶液滴定丙酮的曲線圖)

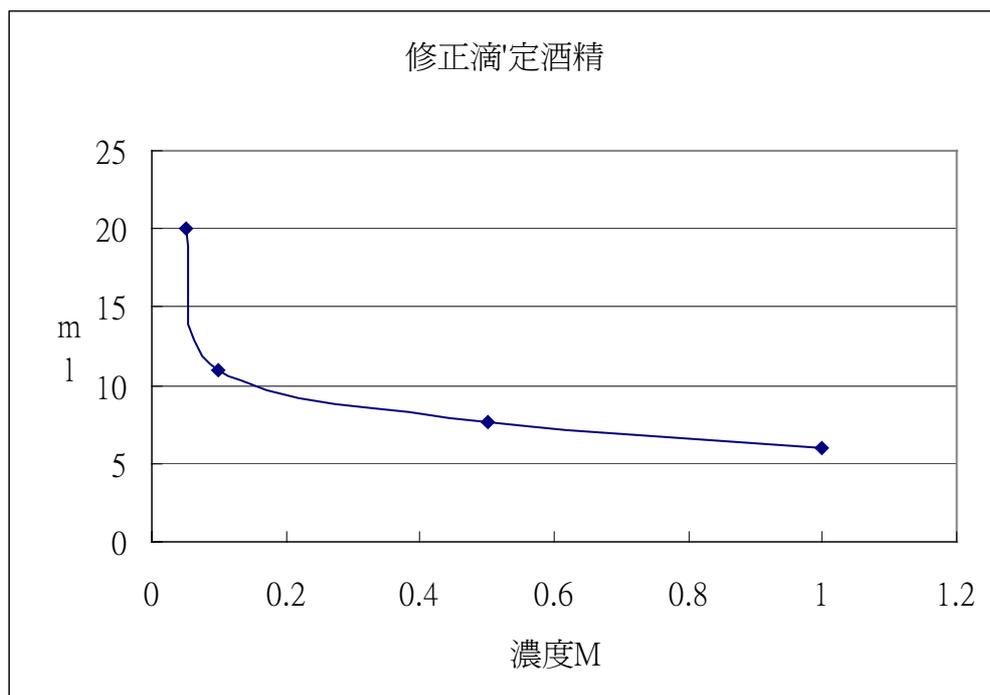
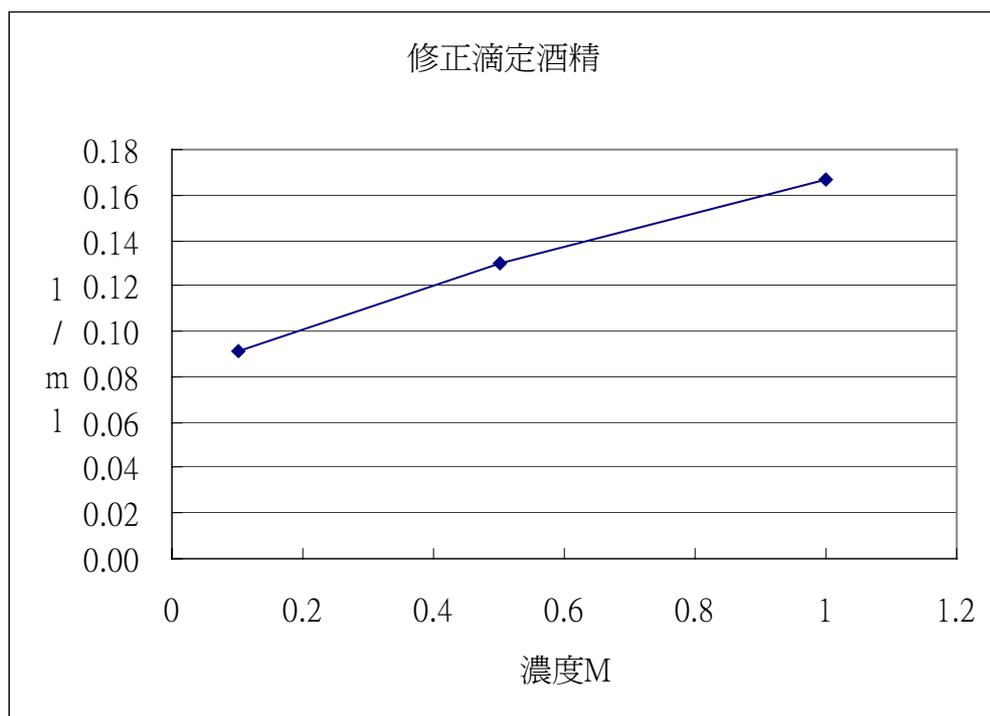


圖 11-4

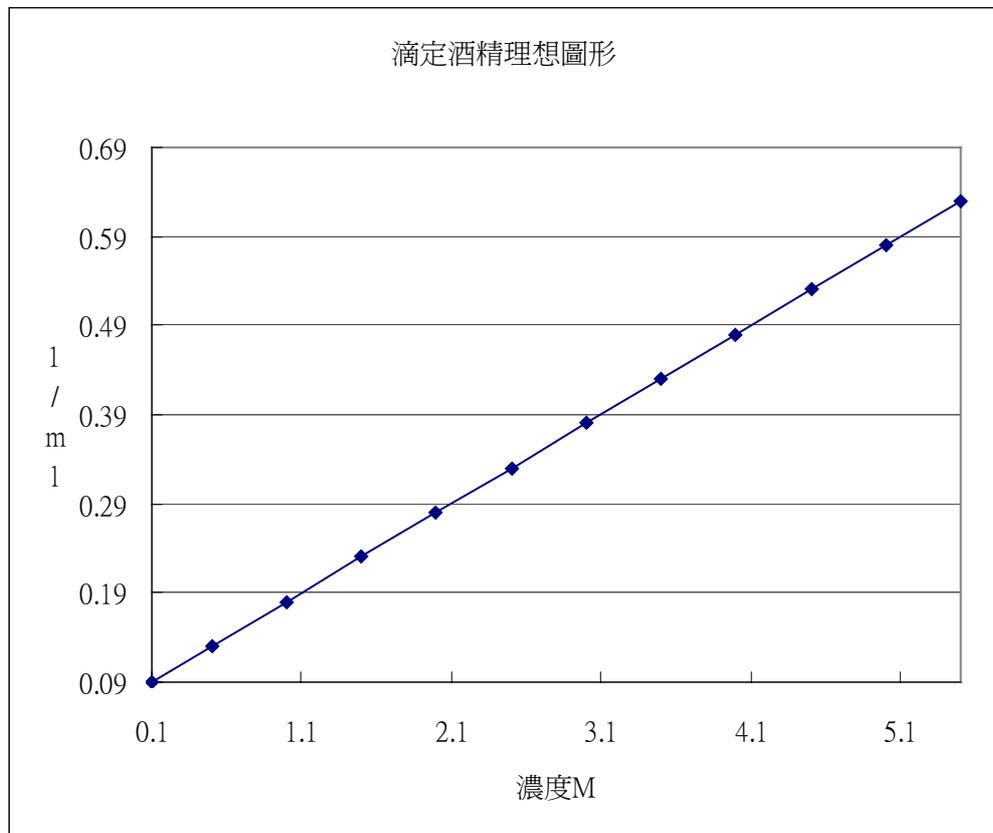


則欲回收在 0.05M 以上濃度的硫酸銅，可帶以下公式：

$$Y(\text{1/滴定酒精 ml})=0.1X(\text{濃度})+0.08\text{..... 【公式 B】}$$

以此公式算出來從原點出發的線性圖如

圖 11-5：



9、圖 12、13 為 0.5M 丙酮、酒精對析出率的圖，是爲了找修正體積後的析出率之用：
圖 12：

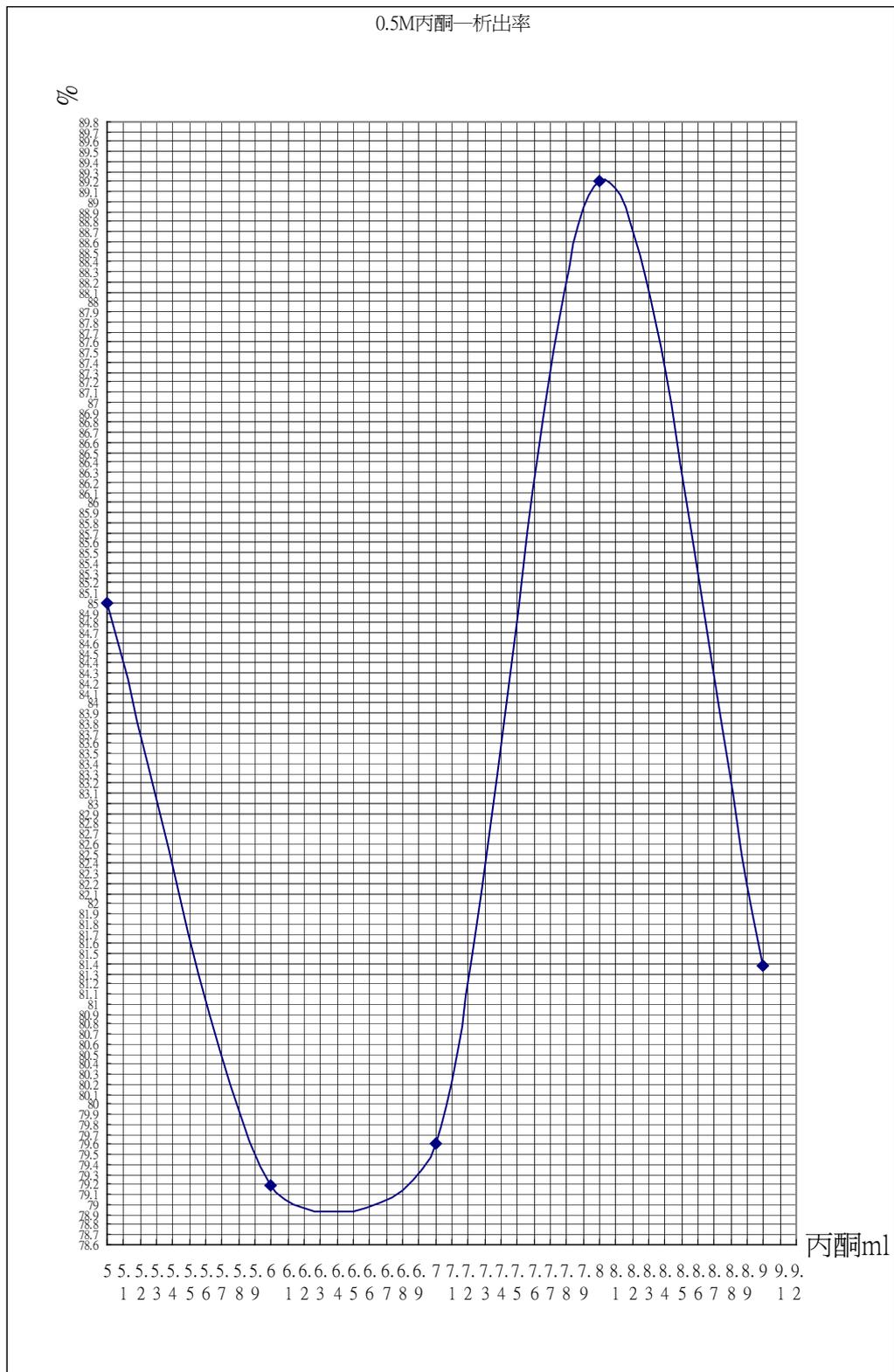
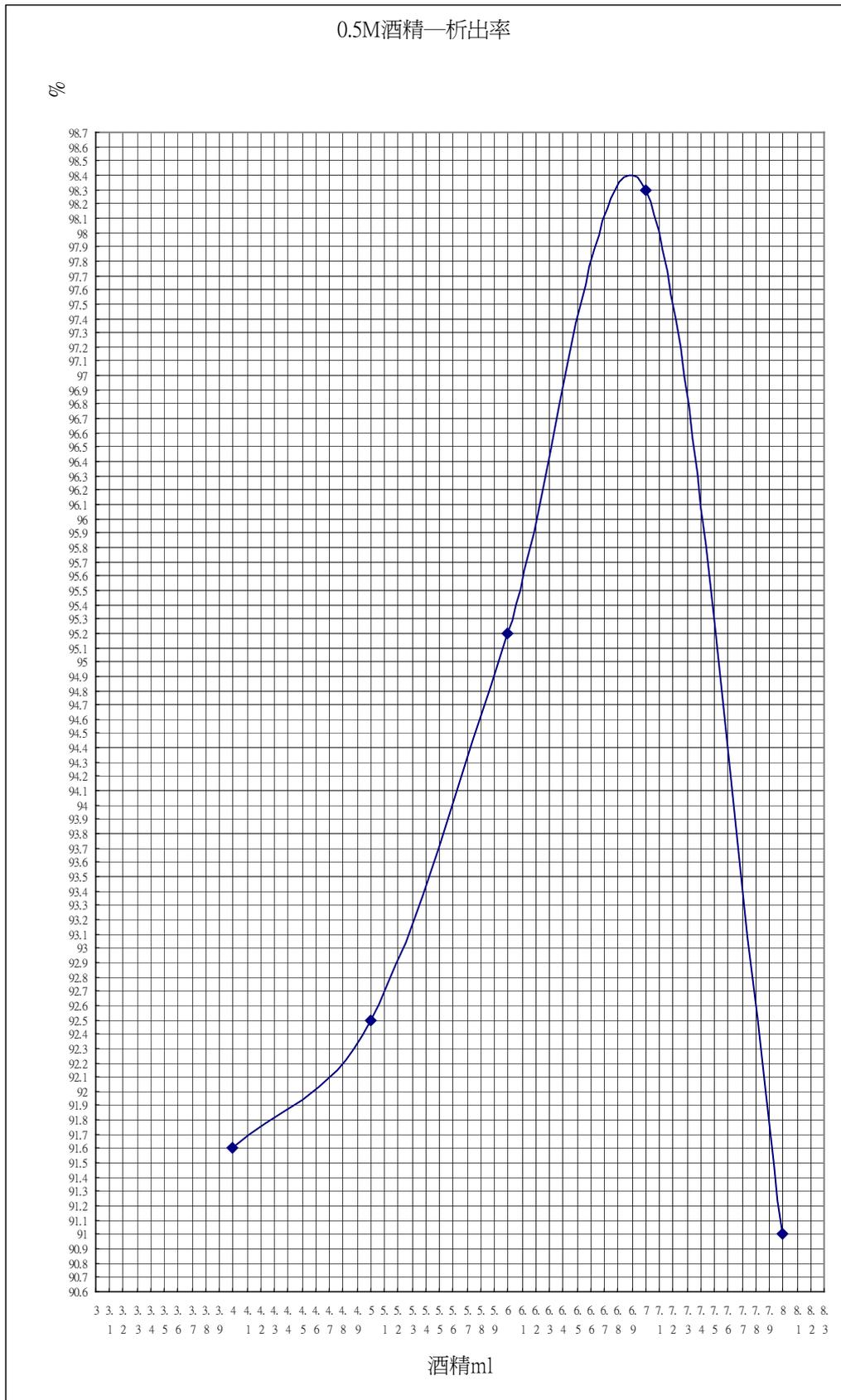


圖 13 :

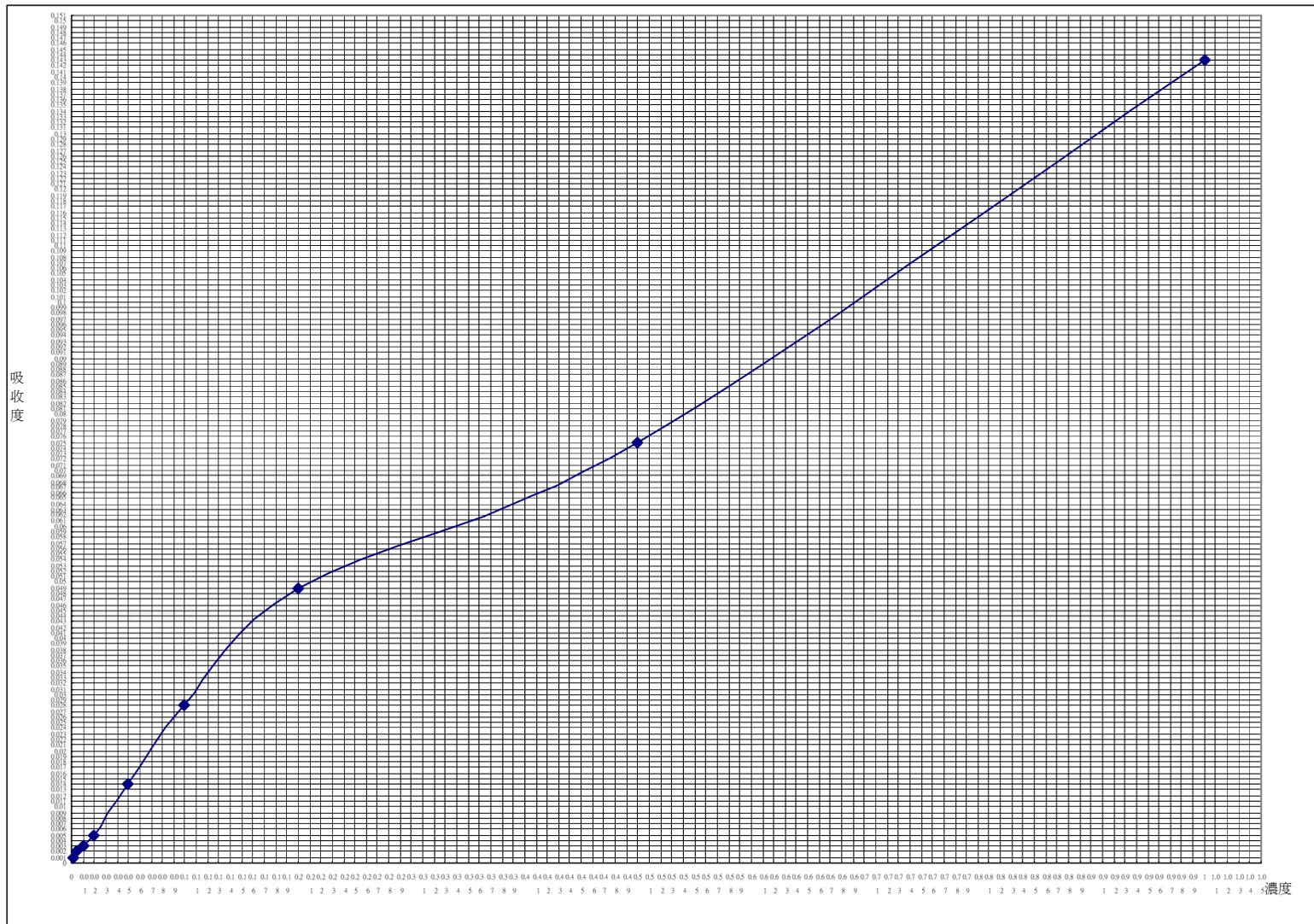


10、表 18 為 UV 光譜儀的以 490nm 照射，所得不同濃度銅離子的數據，畫成圖 14(光譜檢量線)

表 18：

濃度 M	0.002	0.005	0.01	0.02	0.05	0.1	0.2	0.5	1.0
吸收度	0.001	0.002	0.003	0.005	0.014	0.028	0.049	0.075	0.143

圖 14



六、結論與應用：

(一) 實驗室各項簡易分離硫酸銅水溶液方式之比較：

方式 項目	蒸餾法	凝固法	加入溶劑法 加入 99% 丙酮	加入溶劑法 加入 95% 酒精
設備	蒸餾裝置	冰箱 (10 °C 以下)	過濾裝置	過濾裝置
能源	電力、熱源	電能	無(重力、分子間氫鍵分離)	無(重力、分子間氫鍵分離)
原理	沸點高低	凝固點不同	溶解性、氫鍵	溶解性、氫鍵
時間	人員看管 30min/10ml	8hr/10ml	靜置一天不用人員看管	靜置一天不用人員看管
溶劑中殘留 Cu ²⁺	無	很多	0.5%以下	0.3%以下
溶劑回收	100°C 以上	不易分離	無共沸情形， 易(bp=58°C)	有共沸情形 (bp=80°C)
結晶狀	粉狀	不結晶	中型晶體析出	大晶體析出
污染性	小	大	小	小

我發現加入溶劑法是，省時、省力、省能源，又符合綠色化學實驗的原則，這是一項最佳實驗室回收硫酸銅的流程。

(二) 欲回收濃度為 0.1M 以上的硫酸銅水溶液，以丙酮滴定的公式為：

$$Y(1/\text{滴定丙酮 ml})=0.05X(\text{濃度})+0.095 \quad \dots\dots \text{【公式 A】}$$

以酒精滴定的公式為：

$$Y(1/\text{滴定酒精 ml})=0.1X(\text{濃度})+0.08 \quad \dots\dots \text{【公式 B】}$$

(三) 對照實驗的結果，每 10ml 廢棄硫酸銅水溶液，加入正比比倍率（參照公式 A、B）的丙酮或酒精，並靜置一天(不可攪拌)。隔天，只要過濾溶液，便可回收 98%~90% 以上的沉澱物，沉澱物便是硫酸銅結晶。而濾液經蒸餾溫度到 58°C 又無共沸的情形，便可回收丙酮，丙酮又可重覆在使用。

(四) 至於高濃度（1M 以上）的硫酸銅水溶液，就可以分段加以濃縮，如同蒸餾時的多板蒸餾；加入溶劑並過濾多次重覆循環操作，其效果會更佳。

(五)於國中三年級理化第 13 章第 5 節電解硫酸銅、第 6 章電鍍、第 14 章第 1 節鋅銅電池與高中提到的電池、電解，皆有數量不少的硫酸銅的廢液，均可依照體積、濃度用等比例加入溶劑加以分離，並將回收之硫酸銅晶體再利用，減低銅離子的重金屬汙染。

(六)展望於此實驗中我們也可以發現，用於對水會溶而與丙酮或酒精不溶的重金屬化合物，亦可以此流程達到回收的效果，而其加入的丙酮或酒精，均可使用此曲線關係（圖十四、十九）完成分離溶質與溶劑，並取出溶質及外加的丙酮或酒精重覆使用，如此可以大大減少實驗室物質的浪費，並降低對環境的污染。

七、參考文獻

- (一) 周國泰 危險化學品安全技術全書 第一版 北京 化學工業出版社 P.84~86 1997
- (二)柯清水 化學化工大辭典 第一版 台北 正文書局有限公司 P.9,255 2001
- (三)段考強等 現代化學試劑手冊通用試劑 第二版 北京 化學工業出版社 P.165 1993
- (四)張逸群 高級中學實驗室廢棄物處理之研究 第一版 台灣台南 台南一中 P.98,102 1995
- (五) 劉衍余等編著 化工百科全書第一卷 第一版 北京 化學工業出版社 P.441~786 1990
- (六)A.Keith Furr CRC handbook of laboratory safety-4th USA P.354~355
- (七) Carolyn Sweeney Judd May 2001 News from Online:Mercury and Our Environment J.Chem.Educ Vol.78 No.5 P570~572
- (八) Dennis L. Hjeresen etc. Dec.2000 Green Chemistry and Education J.Chem.Educ Vol.77 No.12 P1543~1547
- (九)Emilio April2002 A Copper-Sulfate-Base Inorganic Chemistry Laboratory for First-year University Students That teaches Basic Operations and Concepts J.Chem.Educ. Vol79 No.4. P.486~488
- (十)Judish A.Swan and Thomas G..Spiro Nov.1995 Context in Chemistry:Integrating Environmental Chemistry with the Curriculum j.Chem.Educ Vol.72 No.11 P967~969
- (十一) Mary M.Dirchhoff Dec.2001 Topics in Green Chemistry J.Chem.Educ Vol.78 No.12 P1577
- (十二) Michael C.Cann Dec.1999 Bring State-of-the-Art,Applied,Novel,Green Chemisry to the Classroom by Employing the Presidential Green Chemistry Challenge Awards J.Chem.Educ Vol.76 No.12 P1639~1641
- (十三) Sabine Heinhorst and Gordon Cannon Feb.2001 Nature:"Green"Chemistry,Natural Antioxidants,and a DNA-Fueled Machine J.Chem.Educ No.2 P150~151
- (十四) Scott M.Reed and James E.Hutchison Dec.2000 Green Chemistry in the Organic Teaching Laboratory:An Environmentally Benigh Synthesis of Adipic Acid J.Chem.Educ

Vol.77 No.12 P1627~1629

(十五) Susan Budavari The Merck Index 12th Merck&Co.Inc. Pan-American P.11,447
1996 MISC-49 MISC-29

照片說明

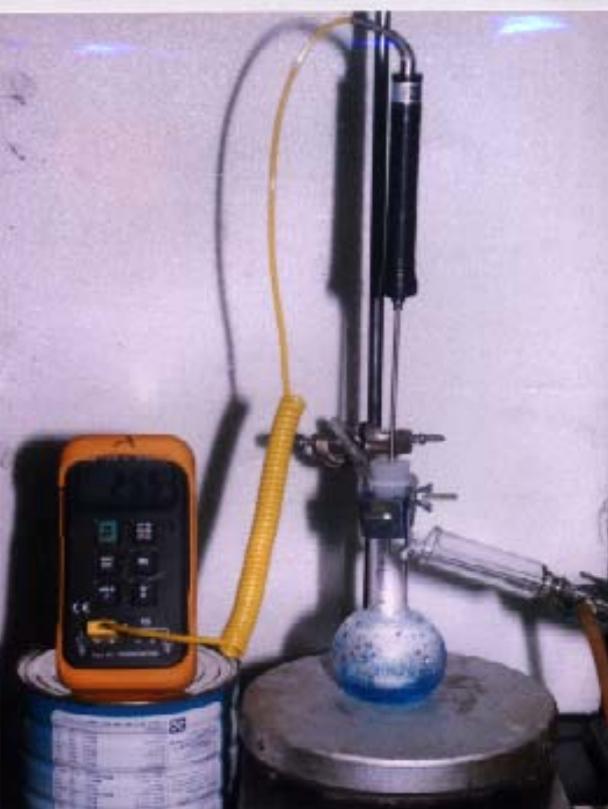
照片說明 1：凝固法結凍的情形 (0.5M)



照片說明 2：凝固法結凍的情形 (0.05M)



照片說明 3：利用蒸餾法蒸餾廢棄硫酸銅水溶液



照片說明 4：利用丙酮溶劑特性滴定廢棄硫酸銅水溶液



照片說明 5：各組不同濃度廢棄硫酸銅水溶液，加入丙酮後靜置 24 小時



照片說明 6：加入丙酮析出硫酸銅晶體



照片說明 7：過濾溶質及溶劑



照片說明 8：烘箱 46°C 乾濾紙



照片說明 9：在乾燥塔內回溫硫酸銅晶體



照片說明 10：秤重回溫的濾紙



照片說明 11：各組殘留的過濾溶液



照片說明 12：利用 UV spectronic 20D+ 測銅離子殘留量



照片說明 13：蒸餾回收丙酮溶劑

