成果報告書

作品名稱：

你有多錳？

關鍵字：亞鐵含量測定、減量減廢、二氧化錳

目　　錄

摘要……01
壹、研究動機……02
貳、研究目的……03
參、研究設備及器材……04
肆、研究過程及方法……05
伍、研究結果……09
　一、廢液中亞錳離子之回收……09
　二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收……12
陸、討論……14
　一、廢液中亞錳離子之回收……14
　二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收……16
柒、結論……18
捌、參考資料及其他……19

摘要

在亞鐵含量之測定中會產生大量廢液，若直接排放會對環境造成影響，而回收則要花費不少費用，因此我們想找出其他方法處理廢液並回收重金屬。我們以亞鐵含量之測定的實驗步驟，模擬小量廢液，進行亞錳離子與其含鐵離子廢液之回收實驗，以分光光度計的比色定量法尋找最佳分離與達放水流標準的 pH 值及簡易操作方式等，最後模擬大量廢液，證實操作可行性。從實驗結果說明，小量與大量廢液皆可藉由快速加入高濃度氫氧化鈉溶液並以玻棒緩慢攪拌等簡易操作達到溶液與沉澱物的有效分離。當含鐵與亞錳離子廢液的 pH 值提高至 4 與 11 時，可有效的依序移除鐵離子與亞錳離子，且溶液的重金屬含量達到環保署放流水標準，而回收的二氧化錳具催化效果與回收利用的價值。

壹、研究動機

做化學實驗時，常常會使用到含重金屬的化學藥品，而其產生之廢液，若直接排放，將會對自然環境造成負面影響，因此含重金屬之廢液須要將其回收，並在特定時間交給相關單位進行處理，這期間實驗室不但須將廢液儲存，同時運送及處理也須花費不少費用，因此我們想找出是否有其他方法可以處理廢液並將重金屬予以回收，以響應綠色化學再生、降輔、防廢之核心原則。

分析化學實驗課為化工科高二學生的必修科目之一，其中有一道實作題目為「亞鐵含量之測定」，且該實作亦屬化學丙級證照測驗一環，此實驗的操作頻率很高。一個班進行一次實驗將產生相當大量的廢液，如每人完成一次實驗會產生約 0.7 公升之 200 ppm 重金屬錳廢液，若一班 35 人，將產生約 25 公升的廢液，而錳廢液中同時夾雜鐵離子，因此我們希望能找出簡單的方法將兩種金屬分離並予以回收錳金屬再次利用，進而減少廢棄物處理的成本。

貳、研究目的

透過固體溶解度積的判斷，我們推測強鹼性溶液(如氫氧化鈉溶液)可將廢液中的亞錳離子及鐵離子分離並移除，且由文獻指出，亞錳離子與氫氧化鈉作用產生的氫氧化亞錳固體，在含氧(空氣)環境下，會迅速轉變成二氧化錳固體，而此固體亦可作為某些反應的催化劑，如氧氣製備實驗中雙氧水分解的催化劑。

我們與老師討論後，決定以化學丙級檢定「亞鐵含量之測定」中的實驗步驟，將實驗分為二個部分，分別為廢液中亞錳離子之回收、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收，先以每次實驗所產生的廢液(約 100 毫升)進行初步實驗，探討廢液處理後重金屬含量是否有達到環保署規定之放流水標準與回收的二氧化錳之催化效果，最後模擬約 5 公升之廢液，確認其實驗之可行性。以下為實驗的目的：

一、廢液中亞錳離子之回收

(一) 硫酸用量之減量

(二) 不同 pH 值下，濾液中剩餘亞錳離子之含量測定

(三) 固定 pH 值下，亞錳離子廢液的簡易分離方式之尋找

(四) 大量亞錳離子廢液之實施可行性

(五) 回收與市售二氧化錳的催化效果之比較

二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收

(一) 硫酸用量之減量

(二) 不同 pH 值下，廢液中鐵離子與亞錳離子之分離效果

(三) 大量亞錳離子與鐵離子廢液之實施可行性

參、研究設備及器材

一、藥品：

碳酸鈉、氫氧化鈉、KHP、草酸鈉、硫酸、錳試劑(0.00875 g 硝酸銀溶於 50 mL 濃磷酸，再加入 100 mL 濃硝酸，以去離子水稀釋至 250 mL)，過錳酸鉀、過硫酸銨、硫酸亞鐵銨、雙氧水、硫氰化鉀、二氧化錳、硝酸、酚酞、甲基紅。

二、器材：

燒杯(50、100、150、250 mL)、定量瓶(50、100、250、500、1000 mL)、錐形瓶、滴定管、滴定管架、滴管、移液管、微量分析移液管(0.1~1.0 mL)、刻度吸量管、安全吸球、移液管盤、玻璃棒、吸濾瓶、橡膠導管、矽膠塞、玻璃纖維濾紙、紙質濾紙、布氏漏斗、漏斗、錶玻璃、量筒、溫度計、乾燥器、刮勺、秤量盅、血清瓶、量杯、鋁箔紙、塑膠瓶、乳膠手套。

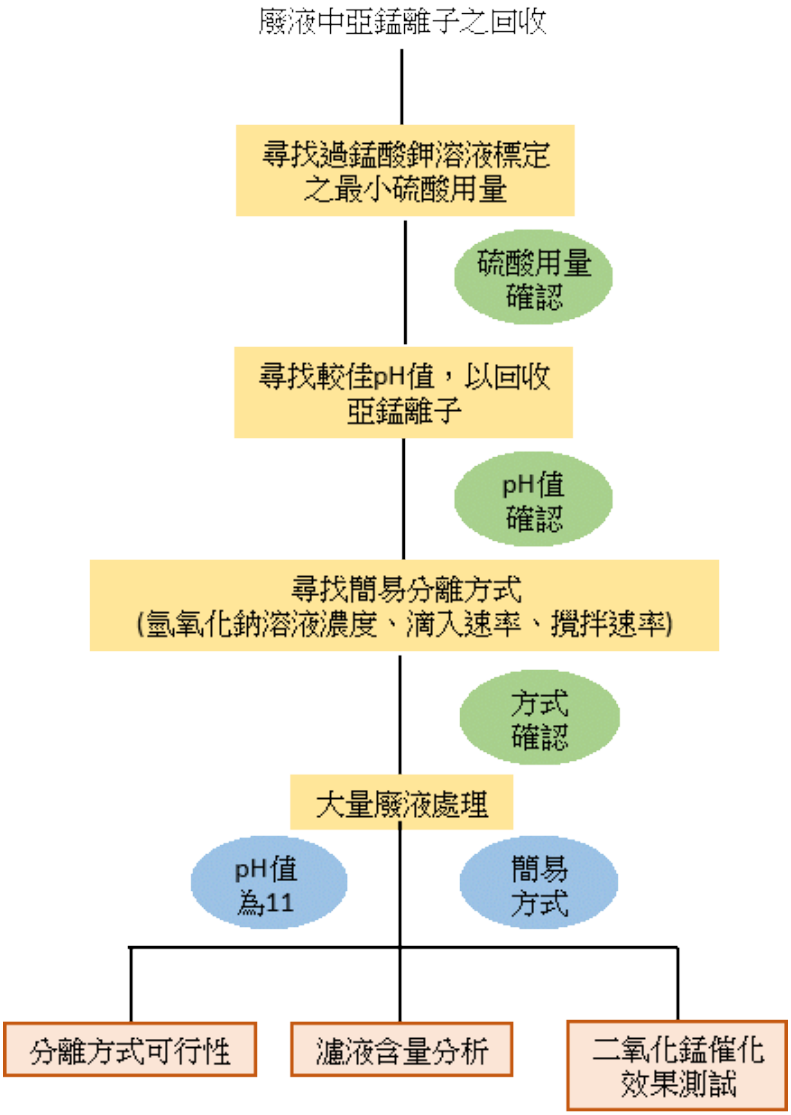
三、設備：

pH 計、磁石攪拌器(含磁石)、分光光度計(含比色管)、烘箱、碼表、黑晶爐、粗秤天秤、精秤天秤。

肆、研究過程及方法

一、廢液中亞錳離子之回收

【實驗架構】



圖一、廢液中亞錳離子回收之架構圖

【微量亞錳離子的比色定量】

該方法的原理為亞錳離子在適當的酸度和煮沸的條件下，並藉由銀離子的催化作用，可被過硫酸銨氧化為過錳酸根，生成紅紫色，再進行比色定量，其反應式如式一、式二。

$$Mn(HCO_3)_2 + 2\ HNO_3 \rightarrow MnNO_3 + 2\ CO_2 + 2\ H_2O \quad \text{式一}$$

$$2\ Mn(NO_3)_2 + 5\ (NH_4)_2S_2O_8 + 8\ H_2O \rightarrow 5\ (NH_4)_2SO_4 + 2\ HMnO_4 + 5\ H_2SO_4 + 4\ HNO_3 \quad \text{式二}$$

【實驗步驟】

(一) 硫酸用量之減量

1. 精秤 0.21 g 草酸鈉固體，加去離子水定量至 250 mL。
2. 分別取上述溶液 20 mL 至 4 個錐形瓶中並分別加入 30、20、10、5 mL 1 M 硫酸溶液。
3. 加熱約至 65℃左右，以已標定過錳酸鉀溶液(濃度為 0.02051 M)滴定至終點。

(二) 不同 pH 值下，濾液中剩餘亞錳離子之含量測定

1. 取 20 mL 已標定過錳酸鉀溶液，加入約 0.2 g 草酸鈉固體與 10 mL 1 M 硫酸溶液，加熱至褪色後冷卻，共準備 6 杯溶液。
2. 將上述溶液分別以 pH 計、10%氫氧化鈉溶液，調整 pH 值至 8、9、10、11、12、13。
3. 以玻璃濾紙分別過濾上述溶液，收集濾液。
4. 分別取 30 mL 濾液以 pH 計、1 M 硫酸溶液，調整 pH 值至約 1。(pH 調為 1 是與檢量線錳標準液的酸性條件一致)
5. 再分別加入 5 mL 錳試劑，加熱至沸騰後，加入約 1 g 過硫酸銨固體，並持續沸騰 2 min。
6. 停止加熱，待溶液溫度降至室溫後，分別定量至 50 mL。
7. 以分光光度計 525 nm 波長下測得各吸光度，並記錄之。
8. 重複步驟(二)中 4 至 7，求得濾液中剩餘亞錳離子的含量。

(三) 固定 pH 值下，亞錳離子廢液的簡易分離方式之尋找

1. 取 20 mL 已標定過錳酸鉀溶液，加入約 0.2 g 草酸鈉固體與 10 mL 1 M 硫酸溶液，加熱至褪色後冷卻。
2. 在基本操作(室溫下，轉速 300 rpm 以緩慢方式加入低濃度氫氧化鈉溶液，並將溶液調至 pH 值為 11)下，將操作方式改為氫氧化鈉溶液濃度。
3. 重複步驟(二)中 3 至 8。
4. 重複步驟(三)中 1 至 3，將將操作方式改為攪拌方式、滴入速度。

(四) 大量亞錳離子廢液之實施可行性

1. 粗秤約 7 g 過錳酸鉀固體溶於 2 L 去離子水中，濃度約 0.02 M。
2. 粗秤約 20 g 草酸鈉固體與 1 L 1 M 硫酸溶液均勻混合，並置於 5 L 血清瓶中。
3. 將上述溶液加熱至 65℃，把步驟(四)中 1 的溶液倒入其中。
4. 以 pH 計測量，並快速加入 25%氫氧化鈉溶液，調整 pH 值約至 11。
5. 靜置 15 分鐘，使溶液與沉澱物充分分離。
6. 將上層澄清液取出 30 mL 於一燒杯中，以 pH 計、1 M 硫酸溶液，調整 pH 值至 1，再以分光光度計 525 nm 波長下測得濾液吸光度，求得濾液中剩餘亞錳離子

的含量。

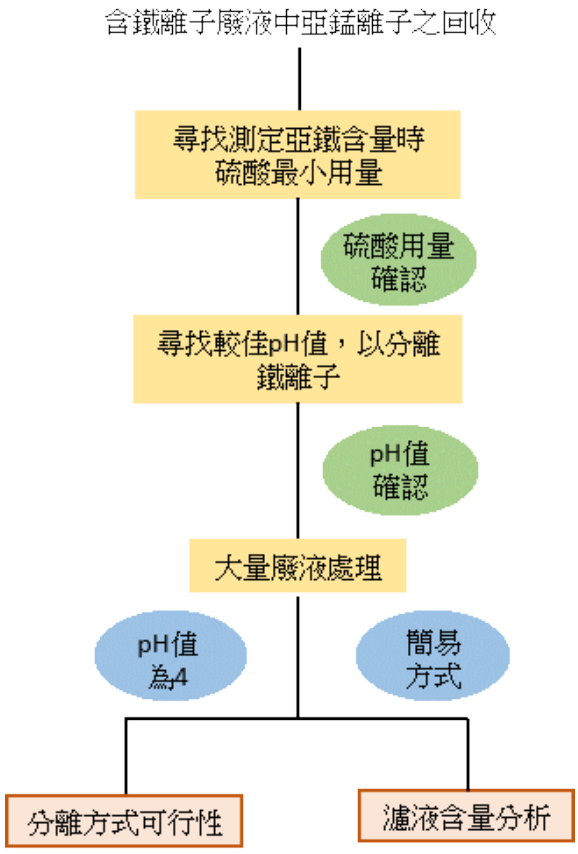
7. 將含沉澱物的下層液，以玻璃濾紙過濾，蒐集沉澱物，烘乾八小時，作為步驟(五)的藥品。

(五) 回收與市售二氧化錳的催化效果之比較

1. 粗秤約 0.1 g 回收的二氧化錳於氣體蒐集裝置的吸濾瓶中。
2. 快速加入 0.5 mL 10%雙氧水於吸濾瓶中，並迅速塞入矽膠塞。
3. 以碼表計時 90 秒記錄產生氣體收集於滴定管之刻度。
4. 重複步驟(五)中 1 至 3。
5. 重複步驟(五)中 1 至 4，將回收的二氧化錳改為市售的二氧化錳。

二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收

【實驗架構】



圖二、含鐵離子廢液中亞錳離子回收之架構圖

【實驗步驟】

(一) 硫酸用量之減量

1. 精秤 0.6 g 硫酸亞鐵銨固體，並加入 50 mL 1 M 硫酸溶液。
2. 以已標定過錳酸鉀溶液滴定至終點。
3. 重複步驟(一)中 1 至 2，並將硫酸溶液用量改成 40、30、20、10、5、3、2 mL。

(二) 不同 pH 值下，廢液中鐵離子與亞錳離子之分離效果

1. 粗秤約 0.82 g 硫酸亞鐵銨固體，加入 3 mL 1 M 硫酸溶液與 20 mL 已標定過錳酸鉀溶液，攪拌至褪色，共準備四杯溶液。
2. 以 pH 計、10%氫氧化鈉溶液調整 pH 值至 3、4、5、6。
3. 將已秤重的玻璃濾紙過濾上述溶液，並分別收集濾液及濾餅。

亞錳離子背景值測定

4. 取 20 mL 已標定過錳酸鉀溶液，加入約 0.2 g 草酸鈉固體與 10 mL 1 M 硫酸溶液，加熱至褪色後冷卻。
5. 將上述溶液加入 5 mL 20%硫氰化鉀，定量至 50 mL。
6. 以分光光度計在 470 nm 波長下測得亞錳離子的背景吸光度。

濾液中剩餘鐵離子含量測定

7. 取步驟(二)中 3 的濾液，以 pH 計、1 M 硫酸溶液調整 pH 值至 2.3。
8. 取溶液 30 mL，加入 0.5 mL 5%雙氧水及 5 mL 20%硫氰化鉀，定量至 50 mL。
9. 將上述溶液以分光光度計 470 nm 波長下測得吸光度。
10. 重複步驟(二)中 8 至 9，求得濾液平均吸光度，將其減去亞錳離子之背景值後並推算濾液中剩餘鐵離子含量。

二氧化錳沉澱量測定

11. 將濾紙上氫氧化鐵沉澱物以 1 M 硫酸溶液溶解，並以去離子水清洗濾紙上剩餘二氧化錳固體。
1. 將上述濾紙以 120℃ 烘乾八小時後秤重記錄，求得二氧化錳沉澱量。

(三) 大量亞錳離子與鐵離子廢液之實施可行性

1. 粗秤約 82 g 硫酸亞鐵銨固體於 5 L 量杯中，並加入 300 mL 1 M 硫酸溶液。
2. 粗秤約 7 g 過錳酸鉀固體溶於 2 L 去離子水中，濃度約 0.02 M。
3. 將上述溶液倒入 5 L 量杯中。
4. 以 pH 計測量，並快速加入 25%氫氧化鈉溶液，調整 pH 值約至 4。
5. 靜置 30 分鐘，使沉澱物與含亞錳離子溶液充分分離。
6. 取部分上層澄清液於一燒杯中，以 pH 計、1 M 硫酸溶液調整 pH 值至 2.3。
7. 取溶液 30 mL，加入 0.5 mL 5%雙氧水及 5 mL 20%硫氰化鉀，定量至 50 mL。
8. 將上述溶液放置 15 分鐘後，以分光光度計 470 nm 波長下測得濾液吸光度，求得濾液中剩餘鐵離子的含量。
9. 將含沉澱物的下層液，以棉花塞漏斗方式過濾，並收集濾液。

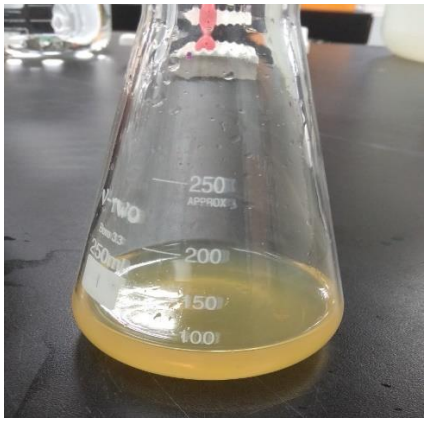
伍、研究結果

一、廢液中亞錳離子之回收

(一) 硫酸用量之減量

表一、不同 1 M 硫酸用量下，對過錳酸鉀溶液標定之影響

草酸鈉固體重量：2.1485 g　，配置體積：250.00 mL， 草酸鈉溶液濃度：0.06413 M，取樣體積：20.00 mL		
1 M 硫酸溶液用量 (mL)	過錳酸鉀溶液滴定體積 (mL)	過錳酸鉀溶液濃度 (M)
30	24.98	0.02054
20	25.10	0.02044
10	25.05	0.02048
5	15.40	0.03331



圖三、5 mL 1 M 硫酸溶液用量之滴定終點顏色

(二) 不同 pH 值下，濾液中剩餘亞錳離子之含量測定



圖四、由左至右分別為 pH 值為 8 至 13 的過錳酸根溶液顏色情況

表二、不同 pH 值下，濾液中剩餘亞錳離子之含量

過錳酸鉀溶液濃度：0.02051 M，取樣體積：20.00 mL				
添加 NaOH 溶液後，實際 pH 值	吸光度			濾液中剩餘亞錳離子 (ppm)
	第一次	第二次	平均值	
8.54	2.482	2.482	2.482	89.99
9.34	1.153	1.148	1.151	41.67
10.17	0.285	0.294	0.290	10.41
11.20	0.026	0.030	0.028	0.8968
11.98	0.027	0.023	0.025	0.7879
13.03	0.023	0.030	0.027	0.8605

計算式(以實際 pH 值 8.54 為例)

將平均吸光度代入檢量線(吸光度 $= 2522 \times C_{M,MnO_4^-} + 0.0033$，$R^2$值為 0.9984)，

得定量瓶中過錳酸根濃度為 9.828×10^{-4} M，由於過錳酸根是由亞錳離子經過硫酸銨氧化而成，因此定量瓶中亞錳離子的濃度與過錳酸根相同。

濾液中剩餘亞錳離子為 $9.828 \times 10^{-4}\,\text{M} \times \frac{50.00\,\text{mL}}{30.00\,\text{mL}} \times 54.94\,\frac{\text{g}}{\text{mol}} \times \frac{1000\,\text{mg}}{1\,\text{g}} = 89.99\,\text{ppm}$

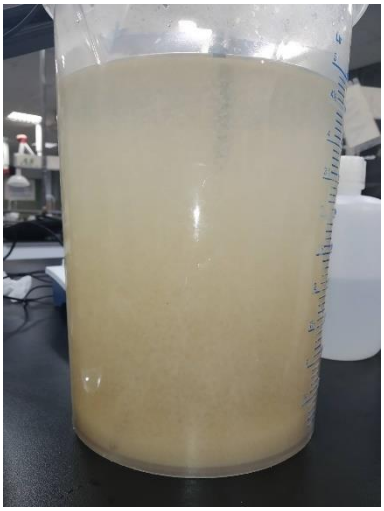
(三) 固定 pH 值下，亞錳離子廢液的簡易分離方式之尋找

表三、基本操作*下，不同操作方式對濾液中剩餘亞錳離子之影響

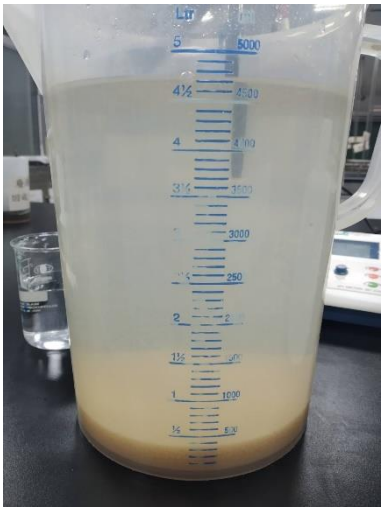
操作方式		吸光度			濾液中剩餘亞錳離子 (ppm)
		第一次	第二次	平均值	
氫氧化鈉溶液濃度	10% (2.84 M)	0.027	0.023	0.025	0.7879
	25% (11.4 M)	0.028	0.031	0.030	0.9512
攪拌方式	磁石攪拌 (300 rpm)	0.030	0.034	0.032	1.042
	玻棒緩慢攪拌	0.039	0.032	0.036	1.187
滴入速度	慢	0.029	0.027	0.028	0.8967
	快	0.032	0.027	0.029	0.9331

*：基本操作為室溫下，轉速 300 rpm 以緩慢方式加入低濃度氫氧化鈉溶液，並將溶液調至 pH 值為 11。

(四) 大量亞錳離子廢液之實施可行性



(a) 靜置 0 分鐘



(b) 靜置 15 分鐘

圖五、5 公升亞錳離子廢液經處理後，二氧化錳的沉澱情況

表四、大量(5 公升)亞錳離子廢液經處理後，濾液中剩餘亞錳離子含量

吸光度			濾液中剩餘亞錳離子 (ppm)
第一次	第二次	平均值	
0.009	0.011	0.010	0.2432

(五) 回收與市售二氧化錳的催化效果之比較



圖六、氣體收集裝置

表五、回收與市售二氧化錳的催化效果

二氧化錳種類	實驗次數	時間 (s)	滴定管刻度
回收	1	90	27.30
	2		27.00
市售	1		26.45
	2		27.25

二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收

(一) 硫酸用量之減量

表六、不同 1 M 硫酸用量下，對過錳酸鉀滴定體積之影響

1 M 硫酸溶液用量 (mL)	硫酸亞鐵銨重量 (g)	過錳酸鉀溶液濃度 (M)	過錳酸鉀溶液滴定體積 (mL)
50	0.5974	0.02051	15.00
40	0.5933		14.70
30	0.6073		14.70
20	0.6092		14.90
10	0.5963		14.70
5	0.5991		14.65
3	0.6032		14.60
2	0.6030		X

(二) 不同 pH 值下，廢液中鐵離子與亞錳離子之分離效果

表七、不同 pH 值下，濾液中剩餘鐵離子濃度與二氧化錳沉澱量之測定

添加 NaOH 溶液後實際 pH 值	吸光度*			濾液中剩餘鐵離子濃度 (ppm)	二氧化錳沉澱量	
	第一次	第二次	平均值		重量 (g)	百分比 (%)
3.07	0.022	0.024	0.023	6.276	0.0003	0.84
4.11	0.012	0.016	0.014	1.233	0.0009	2.40
5.10	0.013	0.013	0.013	0.6724	0.0021	5.60
6.16	0.012	0.014	0.013	0.6724	0.0028	7.47

*：相同濃度下，僅含亞錳離子在波長 470 nm 下的吸光度為 0.008

計算式(以實際 pH 值 3.07 為例)

將平均吸光度減去亞錳離子造成的背景值(0.008)後，代入檢量線(吸光度 = 166.12 $\times C_{M,Fe^{3+}}$ +0.0038，R^2值為 0.9975)，得定量瓶中鐵離子濃度為 6.742×10^{-5} M，

$$\text{濾液中剩餘鐵離子} 6.742\times10^{-5}\ \text{M}\times\frac{50.00\ \text{mL}}{30.00\ \text{mL}}\times55.85\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}\times1000\ \frac{\text{mg}}{\text{g}}=6.276\ \text{ppm}$$

$$\text{二氧化錳沉澱量百分比}\frac{0.0003\ \text{g}}{0.02051\ \text{M}\times\frac{20.00\ \text{mL}}{1000\ \text{mL/L}}\times86.94\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}}\times100\%=0.84\%$$

(三) 大量亞錳離子與鐵離子廢液之實施可行性



(a) 靜置 0 分鐘　(b) 靜置 10 分鐘　(c) 靜置 20 分鐘　(d) 靜置 30 分鐘

圖七、5 公升含鐵、亞錳離子廢液經處理後，氫氧化鐵的沉澱情況

表八、大量(5 公升)含鐵、亞錳離子廢液經處理後，濾液中剩餘鐵離子含量

吸光度			濾液中剩餘鐵離子 (ppm)
第一次	第二次	平均值	
0.012	0.012	0.012	0.3922



圖八、以棉花過濾氫氧化鐵沉澱物

陸、討論

在實驗的前期，我們進行過錳酸鉀溶液的配置、標定，以分光光度計測量微量亞錳離子經過硫酸銨氧化成過錳酸根的比色定量方法驗證之可行性，尋找最大吸收波長、檢量線製作等，由於篇幅限制在此就不呈現相詳細數據。我們標定後過錳酸鉀的濃度為 0.02051 M。過錳酸根在波長 525 nm 下有最大吸收波長，在濃度為 0 至 1.887×10^{-5} M，其濃度與吸光度之關係為吸光度=$2522\times C_{M,MnO_4^-}+0.0033$，檢量線 R^2值為 0.9984(與直接稀釋高錳酸鉀溶液的比色定量結果相符)；鐵離子在波長 470 nm 下有最大吸收波長，在濃度為 0 至 7.490×10^{-4} M，其濃度與吸光度之關係為吸光度 $=166.12\times C_{M,Fe^{3+}}+0.0038$，檢量線 R^2值為 0.9975。

一、廢液中亞錳離子之回收

(一) 硫酸用量之減量

分析化學實習與化學丙級證照在進行亞鐵含量之測定的實驗步驟中，對於過錳酸鉀溶液的標定均加入 1 M 硫酸溶液 30 mL 以酸化草酸鈉溶液，因此本部分實驗想要探討 1 M 硫酸溶液的減量對於過錳酸鉀溶液標定的影響。我們分別取 30、20、10、5 mL 硫酸溶液進行過錳酸鉀溶液之標定，其實驗結果如表一所示。

從實驗結果得知，在 1 M 硫酸溶液用量從 30 mL 減量 10 mL 時，均對過錳酸鉀溶液的標定沒有任何影響，然而在 1 M 硫酸溶液用量少於 10 mL 時，標定過程中溶液顏色呈黃棕色，如圖三所示，推測是因為酸性不足，導致過錳酸鉀轉變成黃棕色二氧化錳固體，而對過錳酸鉀溶液標定產生極大影響。由此實驗證實，1 M 硫酸溶液的用量至少可減少 20 mL，大約減量 67%。

另外，後續的實驗中，亞錳離子的回收是利用氫氧化鈉溶液使其變為二氧化錳沉澱，因此，若在過錳酸鉀標定時減少硫酸用量，有助於降低氫氧化鈉溶液的用量(回收成本降低)，因此後續涉及亞錳離子之回收實驗，1 M 硫酸用量皆採用 10 mL。

(二) 不同 pH 值下，濾液中剩餘亞錳離子之含量測定

環保署規定之錳的放流水標準為 1 ppm 以下，且由文獻指出，亞錳離子與氫氧化鈉作用產生的氫氧化亞錳固體，在含氧(空氣)環境下，會迅速轉變成二氧化錳固體，有此可藉由加入鹼性溶液調整液體的 pH 值，移除溶液中亞錳離子，以達到環保署之放流水標準，且產生的二氧化錳固體亦可作為某些反應的催化劑，如氧氣製備實驗中雙氧水分解的催化劑。

本部分實驗中在室溫下，固定轉速 300 rpm，緩慢滴入氫氧化鈉溶液以調整亞錳

離子溶液的 pH 值，探討在何種 pH 值下，可達到環保署規定之錳的放流水標準。

從圖四、表二的實驗結果得知，在 pH 值為 11、12、13 時，濾液中剩餘的亞錳離子含量均小於 1 ppm，其值分別為 0.8968、0.7879、0.8605 ppm 皆符合環保署規定之錳的放流水標準，在三者都符合標準的情況下，以 pH 值為 11 時氫氧化鈉溶液用量最少，為節省回收成本，往後實驗均以調整 pH 值至 11 為主。

(三) 固定 pH 值下，亞錳離子廢液的簡易分離方式之尋找

溶液 pH 值在 11 以上，就可使濾液中剩餘亞錳離子含量達到環保署規定之錳的放流水標準，然而二氧化錳沉澱物的大小是分離溶液與沉澱物的關鍵，沉澱物顆粒較大靜置時間較短，也可利用簡單操作的傾析法分離溶液與沉澱物，這可以運用於大量廢液的處理以及減省過濾所需要的時間，大大降低成本與能源，因此接下來的目標是如何以更簡易的分離方式，有效地分離溶液與沉澱物。

本部分實驗將氫氧化鈉溶液濃度、攪拌溶液方式以及氫氧化鈉溶液滴入速度視為操作方式的變因，其實驗結果如表三所示。從實驗結果得知，氫氧化鈉溶液濃度從 10%改為 25%時、攪拌溶液方式從 300 rpm 改為以玻棒緩慢攪拌時、以滴管添加氫氧化鈉溶液時，滴入速度從緩慢滴入改至快速注入，濾液中剩餘的亞錳離子均小於 1 ppm，且靜置時間約 15 分鐘溶液後均有明顯的分層，說明即使這些簡易的操作會使溶液的相對過飽和度較高(沉澱物顆粒較小)，但分離效果與基本操作(相對過飽和度較低，沉澱物顆粒較大)時十分接近，而這對於大量廢液來說，之後改良的操作相較於基本操作來講是容易達成的，且利用高濃度氫氧化鈉溶液快速注入，並使用緩慢攪拌的方式取代磁石攪拌，可節省不少成本。

(四) 大量亞錳離子廢液之實施可行性

本部分實驗，我們配置一杯 5 L 含亞錳離子廢液，模擬 20 L 大量廢液的情況下，以上述簡易操作的方式進行。從實驗的結果發現，在靜置時間為 15 分鐘時，大量廢液的溶液與沉澱物能充分地分離，如圖五所示，且濾液中剩餘的亞錳離子含量遠低於環保署規定放流水標準，其數值為 0.2432 ppm，如表四所示。

經由本部分的實驗可驗證，我們所設計的實驗操作方式可輕易的回收廢液中的亞錳離子，並可用簡單操作的傾析法將上層錳含量低於 1.0 ppm 的澄清液排放至水槽，將少量含二氧化錳固體的下層液過濾，回收二氧化錳固體加以利用。

(五) 回收與市售二氧化錳的催化效果之比較

我們將實驗(四)所回收的二氧化錳固體烘乾進行本部分實驗，將回收的二氧化錳固體作為雙氧水分解的催化劑，其氣體收集裝置如圖六所示，而實驗結果如表五

所示。

從實驗結果得知，回收的二氧化錳固體所產生氣體的量與市售之二氧化錳的數據近乎一致，因此可得知我們所回收的二氧化錳固體的催化效果與市售二氧化錳固體無太大差別。

二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收

(一) 硫酸用量之減量

分析化學實習與化學丙級證照在進行亞鐵含量之測定的實驗步驟中，對於過錳酸鉀溶液測定亞鐵含量均加入 1 M 硫酸溶液 50 mL 以酸化溶液，因此本部分實驗想要探討 1 M 硫酸溶液的減量對於過錳酸鉀溶液滴定的影響。我們分別取 50、40、30、20、10、5、3、2 mL 硫酸進行過錳酸鉀溶液之滴定，其實驗結果如表六所示。

從實驗結果得知，在 1 M 硫酸溶液用量從 50 mL 減量 3 mL 時，均對過錳酸鉀之滴定沒有任何影響，然而在 1 M 硫酸溶液用量少於 3 mL 時，滴定過程中溶液顏色呈黃棕色，推測是因為酸性不足，導致過錳酸鉀轉變成黃棕色二氧化錳固體，而對過錳酸鉀溶液之滴定產生極大影響。由此實驗證實，1 M 硫酸溶液的用量至少可減少 47 mL，大約減量 90%。

亞鐵含量的測定比起過錳酸鉀的標定使用 1 M 硫酸溶液的量可從 67%減量至 90%是由於過錳酸鉀與草酸鈉反應時，不僅需在酸性環境下進行，也會與氫離子反應，相較於過錳酸鉀與硫酸亞鐵銨反應僅需在酸性環境下即可進行。

(二) 不同 pH 值下，廢液中鐵離子與亞錳離子之分離效果

溶液中鐵離子與亞錳離子均會與鹼性溶液產生氫氧化物沉澱，且使鐵離子產生沉澱所須的氫氧根濃度小於亞錳離子，因此若直接將溶液 pH 值調至 11，氫氧化鐵與二氧化錳兩者均同時沉澱，導致無法回收高純度的二氧化錳。因此本部分實驗探討在何種 pH 值下，鐵離子與亞錳離子的分離效果最佳。其實驗結果如表七所示。

從實驗結果得知，溶液的 pH 值為 4、5、6 時，能將廢液中大部分的鐵離子轉變成氫氧化鐵沉澱物，且濾液中鐵離子的含量大約小於 2 ppm，此沉澱物再利用過濾法即可與濾液中的亞錳離子分離。然而，實驗結果說明，當溶液 pH 值越大時，氫氧化亞錳(或轉變成二氧化錳)也會隨之沉澱，其中 pH 值為 4 時，錳離子產生沉澱的損失百分比較小(約 2.4%)，同時能夠移除廢液中大部分的鐵離子，因此在進行廢液中鐵離子與亞錳離子之分離時，pH 值選為 4 具有較佳的分離效果。

(三) 大量亞錳離子與鐵離子廢液之實施可行性

本部分實驗，我們配置一杯約 5 L 含鐵離子之亞錳離子廢液，模擬 20 L 大量廢

液。從實驗的結果發現，雖然氫氧化鐵為膠體沉澱，但在靜置時間為 30 分鐘時，大量廢液的溶液與沉澱物能充分地分離，如圖七所示，且能將廢液中鐵離子移除，達到廢液中鐵離子含量低於環保署規定放流水標準之規範(10 ppm)，其數值為 0.3922 ppm，如表八所示。

經由本部分的實驗可驗證，由亞鐵含量之測定之實驗所產生的廢液，可以經由控制溶液的 pH 值將廢液中的亞錳離子及鐵離子分離，並可用傾析法將上層澄清液回收，而含氫氧化鐵沉澱物的下層液若經一般的過濾，則所需的時間太久，因此我們利用棉花代替濾紙當過濾介質，發現過濾時間非常短且可完整分離濾液與沉澱物，如圖八所示。分離的氫氧化鐵固體可直接捨棄，剩下含亞錳離子的廢液則可使用第一部分實驗的方式進行回收，使須回收的廢液量降低。

柒、結論

一、廢液中亞錳離子之回收

(一) 過錳酸鉀溶液標定過程中，1 M 硫酸溶液的用量可大約減量 67%，符合綠色化學中的降輔。

(二) pH 值為 11 時，廢液中的錳含量達到環保署規定之錳的放流水標準(1 ppm 以下)。

(三) 較簡易的操作方式(如高濃度氫氧化鈉溶液快速注入、以手動緩慢攪拌取代磁石攪拌)也能較佳的將溶液與沉澱物分離。

(四) 在溶液 pH 值為 11 時與我們設計的簡易操作方式下，可處理大量亞錳廢液(約 5 公升)。靜置約 15 分鐘即可將溶液與沉澱物分離充分地分離。上層澄清液用簡單操作的傾析法排放至水槽(錳含量小於 1 ppm)，將少量含二氧化錳固體的下層液過濾，回收二氧化錳加以利用。

(五) 回收的二氧化錳固體與市售的二氧化錳在作為雙氧水催化劑時，其催化效果近乎一致。

二、含鐵離子廢液中亞錳離子之回收

(一) 亞鐵含量測定過程中，1 M 硫酸用量可大約減量 90%，符合綠色化學中的降輔。

(二) pH 值為 4 時，能夠移除廢液中大部分的鐵離子，且錳離子產生沉澱的損失百分比較小，而有較佳的分離效果。

(三) 在溶液 pH 值為 4 時與我們設計的簡易操作方式下，可處理大量含鐵離子、亞錳離子廢液(約 5 公升)。靜置約 30 分鐘即可將含亞錳離子溶液與氫氧化鐵固體充分地分離，上層液用簡單操作的傾析法分離後再進行廢液中亞離錳之回收，將少量含氫氧化鐵沉澱物的下層液以棉花過濾。

實驗室產生的鐵離子與亞錳離子廢液可透過調整 pH 值與簡易的操作方式，使其沉澱、過濾、烘乾及回收，最終濾液達到環保署規定放流水標準，且回收的二氧化錳固體具有催化效果，能直接運用至普通化學實驗「氧氣的製備」課程中作為雙氧水分解的催化劑，大大減省回收的廢液的成本與廢棄物回收再利用的優點。

捌、參考資料及其他

(一) 勞動部勞動力發展屬技能檢定中心。2020 年 7 月 15 日。取自：
https://www.wdasec.gov.tw/

(二) 維基百科。2020 年 7 月 15 日。取自：
https://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5

(三) 行政院環境保護署。2020 年 7 月 30 日。取自：https://www.epa.gov.tw/

(四) 中國標準物質網(2018)。過硫酸銨比色法測定 Mn^{2+}。取自：
http://www.gbw114.com/news/n36881.html

(五) 傅芳馨、黃潔瑩、張鳳書(2020)。分析化學上冊。新北市：全華圖書股份有限公司。

(六) 傅芳馨、張鳳書(2021)。分析化學下冊。新北市：全華圖書股份有限公司。

(七) 許華麟、何姍珊(2021)。分析化學實習下冊。新北市：全華圖書股份有限公司。

(八) 張翰林(2020)。普通化學實習上冊。新北市：全華圖書股份有限公司。