

污染防治技術

廠內改善

分析化學實驗室廢水之調查研究

李文智* 簡煌柔** 洪建誠** 鄭炯章***

摘要

分析化學實驗為化學、化工、環科、藥學、醫學、生物、農化等，大學之必選修科目。因其在實驗過程中會排出多種有毒之重金屬，不處理即逕行排放，可能經食物鏈之累積作用 (Food Chain Accumulation)，而為害人體健康。

本研究小組為瞭解分析化學實驗之水質與水量，選擇一分析化學實驗室進行廢水水質水量之調查、分析及推估之研究，本研究結果如下：

1. 本研究實地測定分析化學實驗室廢水，於 200 個水樣中，計有 66 個超過放流水標準，其不合格率為 33%。
2. 分析化學實驗室廢水之推估結果顯示，整年度之自由排放濃度 72 個水樣，計有 37 超過放流水標準；其中以總汞之自由排放濃度高達 47.20 mg/l 為法定排放標準 9,400 倍，最令人擔憂。
3. 預估整年度分析化學實驗之控制排放濃度，除了總汞仍未能達到排放標準外，其均符合法定放流水之排放標準。
4. 由控制排放濃度與自由排放濃度之比值 (R) 可知， R 值約為 $4.1/1,000 \sim 6.7/1,000$ ，其中間值約為 $5.5/1,000$ ，因此，將原液收集可使污染之降低，收立竿見影之效。
5. 整年度分析化學實驗室廢水之總廢水量推估值為 16,648 公升（約 16.6 m^3 ），而液總體積為 35.8 公升。

壹、前言

近幾年來由於生活品質之提昇，人們對環境公害之問題日益重視。而在環境保護之工環節中，實驗室廢水經常為大家所忽略。實驗室廢水以往都無處理即逕行排入河川溝渠，於成分複雜且常含濃度極高之毒性物質，對整個生態環境，可謂一無形之殺手，對河川水之污染相當嚴重。

* 逢甲大學環境科學系講師

** 逢甲大學環境科學系第五屆 (77 級) 畢業生

*** 逢甲大學土木及水利工程研究所研究生

本研究小組為瞭解分析化學實驗之水質與水量，選擇一分析化學實驗室進行廢水水質與水量之調查、分析及推估之研究，冀望研究結果能使社會大眾對實驗室廢水有所瞭解及重視，並對往後設置實驗室廢水處理設備之規劃、設計及處理有所助益。

貳、廢水水量及水質之調查步驟與方法

一、本研究專有名詞意義如下：

1. 清洗液：實驗前後或實驗中清洗儀器、器皿所產生之廢水，加以收集稱為清洗液。此清洗液中所含污染物質濃度較低。
2. 原液：實驗完畢所剩餘未稀釋之原藥品溶液，或實驗過程中因實驗錯誤所廢棄之實驗藥品溶液及實驗反應完成後所產生之反應溶液。三者混合收集後之溶液稱為原液。
3. 混合液：將原液與清洗液按體積等比例混合之溶液稱為混合液。
4. 實驗用總質量：預估一次實驗所配藥品，推算而得廢水中某污染物質之總質量。
5. 廢水總體積：某一次實驗所排放的總水量，包括清洗液及原液。
6. 理論濃度：推算實驗廢水中某測定項目，可能排放之質量 (mg) 與可能產生之廢水體積 (公升) 的比值，稱為理論濃度 (mg/l)。理論濃度分為自由排放濃度與控制排放濃度兩種。
7. 自由排放濃度：不將實驗之原液分別收集，而於整個實驗過程中，可能排放某污染物之總質量 (mg) 與可能產生廢水之總體積 (公升) 的比值，稱為自由排放濃度 (mg/l)。
8. 控制排放濃度：將實驗之原液分別收集，並控制其不得排放。在整個實驗過程中，所排放之廢水，其某項污染物總質量 (mg) 與可能排放廢水總體積 (公升) 之比值，稱為控制排放濃度 (mg/l)。
9. 實測濃度：直接取水樣，施測水樣中各測定項目之濃度值稱為實測濃度。

二、廢水水量及水質之調查過程與方法：

1. 廢水水量之調查：在分析化學實驗前，先請上實驗課之老師幫忙告知每位同學有關收集廢水之事項，並於黑板上寫明收集廢水之方法：

- (1) 清洗液：以25公升之塑膠桶數個，收集清洗儀器之清洗液。由實驗同學直接就水龍頭清洗，以塑膠桶盛接；或以塑膠管連接水龍頭，並將清洗液導入塑膠桶中收集。收集後以量筒量測清洗液之總體積。
- (2) 原液：以5公升之塑膠桶兩個，收集實驗過程及完畢後所產生之廢液，以及實驗錯誤再重新操作所產生之廢液，合稱為原液，以量筒量測原液體積。

2. 廢水水質之調查：分析化學實驗廢水水質之調查，分為清洗液及原液兩項：

- (1) 清洗液：於每次實驗時，將整個實驗時間分成三個階段收集，每一階段收集50公升（即分裝於兩個25公升之塑膠桶中），因廢水量甚大，全部收集甚為困難。其廢水收集之基本理念，乃根據實驗過程中排出廢水量之體積，作等比例收集。每一實驗收集三個階段之廢水計150公升，分裝於六個25公升塑膠桶，編號為清洗液 1, 2,

3, 4, 5, 6。

(2)原液：原液原則上全部收集後，直接取樣測定，但某些實驗之原液收集有實際之難者，則原液不收集，只收集清洗液。

分析項目係依據實驗所使用藥品，推估可能產生之污染物質，並配合法定實驗室廢水放流水標準規定項目，擬定出廢水水質之測定項目。

參、廢水及水質之推估過程與方法

一、廢水水量之推估：

1.各器皿清洗水量之推估：分析化學所需要之器皿計有滴定管、錐形瓶、燒瓶（兩種）、量桶（兩種）、錶玻璃、試管、離心試管、滴管、玻棒、坩堝、燒杯（五種）、蒸發皿、玻璃吸管、溫度計、富氏漏斗、漏斗等22項。各器皿清洗水量之推估，首先將上述器皿於實驗室中模擬實驗過程，沾上實驗配製之藥品溶液，並進行清洗，清洗多次後，記錄每次清洗所需水量，取其平均值，即得該器皿每清洗一次之清洗水量。

2.每一分析化學實驗總清洗水量之推估：每一次分析化學實驗之總清洗水量，為該實驗某一器皿之個數乘上清洗次數，再乘該上器皿之清洗水量，最後將各不同種類器皿的清洗量相加，即為該實驗之總清洗水量。

3.每一分析化學實驗原液體積之推估：將每一組在實驗過程中，可能產生原液之各藥體積相加後，乘上組數，再乘1.5（1.5為修正係數，乃考慮實驗者因實驗結果，重新操作所增加之原液體積。），即得原液之體積。

二、各實驗廢水污染物質濃度之推估：

1.自由排放濃度之推估：將實驗所用藥品中，某一污染物質之總質量除以總水量，即自由排放濃度。

2.控制排放濃度之推估：模擬實驗過程中，各器皿已沾上藥品溶液並產生原液，將原液分別收集，並將實驗過程使用過之器皿（含盛裝原液之器皿）清洗，且測定清洗溶液中之污染物質之濃度。重覆上述步驟六次，求其平均值。另外，再將清洗液中污染物質之濃度乘以清洗液之體積，可得清洗液中污染物質之質量，由此可瞭解清洗液中污染物質佔實驗用總量之百分率。

肆、結果與討論

一、分析化學實驗使用之藥品及儀器：

本研究所調查之分析化學實驗室，一學年所做之實驗計有十七項，每項實驗所使用之品用量及儀器清洗次數，如表1-1 及附錄表1-2~附錄表1-17 所示。本研究進行污染物質測查時，乃以使用之藥品⁽⁴⁾，依物質不滅之觀念及放流水標準排放之規定，擬定污染物質測查項目⁽³⁾。

表 1-1 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數
陽離子第 I 族：含鉛、汞、銀三種離子的水樣

藥品	用	量	每組所用儀器及其清洗次數
1. Pb (NO ₃) ₂	1M 100ml	7. NH ₄ OH	17g
2. AgNO ₃	0.3M 100ml	8. NaOH	4g
3. Hg ₂ (NO ₃) ₂	0.5M 100ml		
4. K ₂ Cr ₂ O ₇	0.5M 100ml		
5. HCl	6N 50ml		
6. HNO ₃	3N 50ml		

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。

2. 實驗時間：75年10月1日，13:40。

二、實際廢水之調查結果：

廢水之實際調查分析結果如表2至表5所示，包含「鐵的過錳酸根滴定法」、「陽離子第V族 (Mg⁺²、Na⁺、K⁺、NH₄⁺)」、「陰離子第I族 (SO₄⁻²、PO₄⁻³、CO₃⁻²、SO₃⁻²)」及「陰離子第II族 (S⁻²、Fe(CN)₆⁻⁴、Fe(CN)₆⁻³)」等四項實驗，茲分述如下：

1. 鐵的過錳酸根滴定法實驗：

如表2所示，實測水質項目計十項，其中氯鹽與比導電度兩項不屬於法定放流水標準之管制項目，其餘八項中，計有三項超過法定放流水標準。茲將各測定項目（如表2所示），分別說明如下：

(1)清潔劑 (ABS)：如表2所示，其濃度測定值分別為 31.570 mg/l、29.66 1mg/l 及 6.884 mg/l。由於此陰離子界面活性劑之用量難以預估，所以無法估算其理論濃度。但由以上數據可看出實驗室之 ABS 用量偏高，推估其原因有兩點：

- a. 做實驗同學之清洗習慣不佳，增加清潔劑用量。
- b. 實驗時殘留在器皿上的藥品難清洗，耗費較多之清潔劑。

為了使 ABS 之濃度不超過法定放流水標準 (10.0 mg/l)，應培養實驗同學不浪費清潔劑之清洗習慣。

(2)懸浮固體 (S. S.)：懸浮固體之濃度均甚低，且都合乎法定放流水標準 (200 mg/l)。分析化學實驗藥品溶液形成懸浮固體狀之膠羽甚少，因此懸浮固體物之測定值亦較小。

(3)化學需氧量 (COD)：本實驗之藥品中並無有機物的成份，而卻可在原液、清洗液及混合液中檢驗出，原液之 COD 值更高達 1,923 mg/l，推估其原因可能是氯鹽之干擾，由表2知，原液氯鹽濃度高達 111,382 mg/l。清洗液編號 1~6 之 COD 值最高為 161.5 mg/l，合乎放流水標準。清洗液中 COD 主要來源為清洗實驗器皿時所使用之清潔劑。

(4)硫化物：因實驗步驟中，含有硫的化合物留在原液，所以清洗液中硫化物含量較低

表 2 鐵的過錳酸根滴定法實驗廢水之調查分析結果

項 目	清洗液 mg/l 1.	清洗液 mg/l 2.	清洗液 mg/l 3.	清洗液 mg/l 4.	清洗液 (mg/l) 5.	清洗液 (mg/l) 6.	原 液 (mg/l)	混合液之 實測濃度 (mg/l)	實驗用 總質量 (mg/l)	廢 水 總體積 (l)	理論 濃度 mg/l	放流水 標準 mg/l	混合液 是否超 過放流 水標準
清潔劑 (ABS)	31.570		29.661		6.884		—	22.181	—	250	—	10.0	是
懸 浮 固 體	0.0090	0.0055	0.0005	0.0100	0.0195	0.0040	0.7995	0.0211	—	250	—	200	否
氯 鹽	2,701	675	337	1,688	2,026	4,052	111,382	3,740	220,426	250	881	—	—
比 導 電 度	3,800	310	325	2,900	2,050	5,600	720,000	14,033	—	250	—	—	—
COD	11.5	15.0	161.5	23.0	19.0	31.0	1,923	67.5	—	250	—	300	否
硫 化 物	0.167	0.133	1.167	1.200	0.033	1.167	4.900	0.687	187,200	250	789	1.0	否
pH	5.1	4.8	4.0	3.8	5.6	5.2	1.3	4.2	—	250	—	5~9	是
溶 解 性 錳	0.090	0.216	0.680	0.051	0.890	1.050	105.5	2.153	11,160	250	44.64	10.0	否
溶 解 性 鐵	0.08	0.07	0.10	0.91	0.02	0.01	10.75	0.37	900	250	3.60	10.0	否
總 禿	3.123	3.123	1.874	1.249	3.748	3.787	218.6	6.327	920	250	3.68	0.005	是

。清洗液中的硫化物濃度最高 1.200 mg/l，最低 0.033 mg/l，六個清洗水樣有三個合乎法定放流水標準。混合液之實測濃度亦合乎放流水標準。

(5)氫離子濃度指數 (pH)：由表 2 所示，原液之 pH 值為 1.3 不合乎法定放流水標準 (5~9)，且清洗液中亦有三個水樣超過法定放流水標準，此乃因實驗使用藥品中含有 HCl 及 H₂SO₄ 等強酸之故。

(6)溶解性錳 (Mn)：除了原液濃度為 105.5 mg/l 外，清洗液編號 1~6 之水樣均未超過法定放流水標準 (10.0 mg/l)，其值最高 1.05 mg/l。

(7)溶解性鐵 (Fe)：原液之溶解性鐵濃度為 10.75 mg/l，比法定放流水標準 (10.0 mg/l) 稍高，而清洗液之濃度為 0.01 mg/l~0.91 mg/l，均合乎法定放流水標準。又，鐵與錳在水中如遇有氧化性物質或經由曝氣程序，很容易形成膠羽沉澱去除，對環境之衝擊較小。

(8)總汞 (Hg)：不論理論濃度、清洗液、原液或混合液之實測濃度，均超過法定放流水標準 (0.005 mg/l)。汞為毒性較高之重金屬，河川水域若遭受汞之污染，很容易經由食物鏈之累積作用，為人類所攝入，造成水俣病，故放流水標準之濃度值甚低。由表 2 可知，分析化學實驗室廢水總汞之濃度，原液為 218.6 mg/l，混合液之實測濃度為 6.327 mg/l，分別為法定放流水標準之 43,720倍及 1,265倍，因此可知，分析化學實驗室廢水汞之污染是一非常嚴重的問題。

2.陽離子第 V 族 (Mg²⁺、Na⁺、K⁺、NH₄⁺) 實驗：

如表 3 所示，實測項目計五項，其中三項符合法定放流水標準，兩項不合乎放流水標準

。茲將各測定項目分別說明如下：

(1)清潔劑 (ABS)：實驗用總質量無法精確估算，因此，表 3 中不列出其理論濃度。ABS 值之測定係將清洗液每兩個水樣原體積等比例混合，其濃度以編號清洗液 1，

表 3 陽離子第 V 族 (Mg^{+2} , Na^+ , K^+ , NH_4^+) 之實驗廢水調查分析結果

項 目	清洗液 (mg/l) 1.	清洗液 (mg/l) 2.	清洗液 (mg/l) 3.	清洗液 (mg/l) 4.	清洗液 (mg/l) 5.	清洗液 (mg/l) 6.	混合液之 實測濃度 (mg/l)	實驗用 總質量 (mg/l)	廢 水 總體積 (l)	理論 濃度 mg/l	放流水 標準 mg/l	混合液 是否超 過放流 水標準
清潔劑 (ABS)	39.21		33.33		11.76		30.00	—	210	—	10.0	是
COD	198	67.5	132	96.2	45.6	88.7	107.8	22,760	210	108.4	300	否
硝酸鹽氮	65.3	156.4	105.6	78.0	96.1	113.1	96.1	105,400	210	501.9	100	否
pH	4.6	5.1	6.0	4.5	5.3	5.6	5.1	—	210	—	5~9	否
硫化物	1.4	1.9	1.2	1.3	0.3	0.2	1.2	800	210	3.8	1.0	是

及 3, 4 之原體積等比例混合之水樣較高，混合液濃度亦超過放流水標準。各清洗液之 ABS 濃度值高低不一，表示實驗過程各階段，實驗同學清洗器皿之多寡。

(2)化學需氧量 (COD)：所有六個清洗液均合乎法定放流水標準 (300 mg/l)，最高 198 mg/l。其理論濃度 (108.4 mg/l) 與混合液之實測濃度 (107.8 mg/l) 很接近。

(3)硝酸鹽氮 (NO_3^-)：混合液及清洗液中，硝酸鹽氮濃度最高 156.4 mg/l，最低 65.3 mg/l，七個水樣中有三個不合乎放流水標準 (100 mg/l)。而其理論濃度為混合液實測濃度五倍之多，可知實驗前所配製含 NO_3^- 級子之藥品，如 HNO_3 (16N), $Mg(NO_3)_2$ (0.5M)，約只用掉五分之一。

(4)氫離子濃度指數 (pH)：清洗液編號 1、4 之水樣不合乎法定放流水標準，而清洗液以體積等比例混合的混合液則合乎放流水標準 (5~9)，本實驗 pH 值問題並不嚴重。

(5)硫化物：清洗液編號 1、2、3、4 及混合液均超過法定放流水標準 (1.0 mg/l)，但此測定值最高 1.9 mg/l，最低 1.2 mg/l 均與放流水標準接近，所以只要控制含有硫化物之化合物用量即可合乎標準。而其理論濃度較混合液實測濃度為大，由此可見，實驗前含有硫之化合物 $(NH_4)_2SO_4$ (0.25M)，其配製量大於使用量。

3. 陰離子第 I 族 (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , SO_3^{2-}) 實驗：

如表 4 所示，實測項目計五項，其中有兩項合法定放流水標準，另三項不合格。茲將各測定項目分別說明如下：

(1)清潔劑 (ABS)：只有將清洗液編號 5、6 按體積等比例混合的水樣 (7.58 mg/l) 合乎法定放流水標準 (10 mg/l)，此因本實驗較簡單，大部份實驗同學於水樣收集第三階段時，已甚少使用清潔劑，因此濃度較低。

(2)化學需氧量 (COD)：此實驗之藥品不含有機物，所以僅 COD 值 (5.0~13.0 mg/l) 甚低，此微量有機物主要來自清洗用水及清潔劑。

(3)硝酸鹽氮 (NO_3^-)：混合液超過法定放流水標準，清洗液中亦有三個水樣不合格。理論濃度 (160.0 mg/l) 與混合液實測濃度 (122.9 mg/l) 相差不多，可見實驗前所配製之含 NO_3^- 藥品幾乎用罄。

表 4 陰離子第 I 族 (SO_4^{2-} , PO_4^{3-} , CO_3^{2-} , SO_3^{2-}) 之實驗廢水調查分析結果

項 目	清洗液 (mg/l) 1.	清洗液 (mg/l) 2.	清洗液 (mg/l) 3.	清洗液 (mg/l) 4.	清洗液 (mg/l) 5.	清洗液 (mg/l) 6.	混合液之 實測濃度 (mg/l) 7.	實驗用 總質量 (mg/l) 8.	廢 水 總體積 (l) 9.	理論 濃度 mg/l 10.	放流水 標準 mg/l 11.	混合液 是否超 過放流 水標準 12.
清潔劑 (ABS)	28.35		30.03		7.58		23.89	—	200	—	10.0	是
COD	6.6	5.0	9.3	10.5	13.0	7.0	8.5	—	200	—	300	否
硝酸鹽氮	88.1	112.3	145.2	92.9	215.5	75.0	122.9	32,000	220	160.0	100	是
pH	5.8	4.7	4.4	4.9	5.0	4.1	4.6	—	200	—	5~9	是
硫化物	0.7	0.4	1.0	0.9	1.2	1.1	0.8	4,160	200	20.8	1.0	否

(4) 氢離子濃度指數 (pH)：七個測定 pH 值的水樣中，雖有五個 (pH=4.1~4.9) 超過放流水標準 (5~9)，但與標準相差不多，只要嚴格控制原液之排放，應可使本實驗廢水之 pH 值合乎標準。

(5) 硫化物：只有清洗液編號 5、6 兩個水樣 (1.1~1.2 mg/l) 超過放流水標準，其餘五個水樣 (包括混合液) 均合乎標準 (1.0 mg/l)。

4. 陰離子第 II 族 (S^{2-} , $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$) 實驗：

如表 5 所示，實測項目八項，其中有二項不合乎放流水標準，另六項符合。茲將各測定項目分別說明如下：

(1) 清潔劑 (ABS)：不論混合液 (28.38 mg/l) 或清洗液 (18.76~32.21 mg/l) 均超過放流水標準 (10.0 mg/l)，可知清潔劑之消耗量甚大。

(2) 化學需氧量 (COD)：本實驗室使用之清洗水為地下水，其中所含有機物會促使清洗水中之 COD 值增高，所以清洗液中的 COD 值均略高於理論濃度，但最高僅 52.6 mg/l，均低於放流水標準。

表 5 陰離子第 II 族 [S^{2-} , $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$, $\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$] 之實驗廢水調查分析結果

項 目	清洗液 (mg/l) 1.	清洗液 (mg/l) 2.	清洗液 (mg/l) 3.	清洗液 (mg/l) 4.	清洗液 (mg/l) 5.	清洗液 (mg/l) 6.	混合液之 實測濃度 (mg/l) 7.	實驗用 總質量 (mg/l) 8.	廢 水 總體積 (l) 9.	理論 濃度 mg/l 10.	放流水 標準 mg/l 11.	混合液 是否超 過放流 水標準 12.
清潔劑	32.31		30.02		18.76		28.38	—	250	—	10.0	是
COD	52.6	29.5	31.0	26.0	18.0	22.3	30.8	320	250	1.3	300	否
溶解性鐵	3.2	0.9	1.4	6.8	0.6	3.7	2.8	4,920	250	9.7	10.0	否
鋅	0.2	0.9	1.7	0.9	2.4	3.0	1.4	6,500	250	26.0	5.0	否
鉛	1.5	4.6	5.7	5.6	5.4	5.4	5.0	—	250	—	5~9	否
硝酸鹽氮	31.2	35.7	30.6	21.5	45.3	40.5	32.5	12,400	250	49.6	100	否
pH	4.9	4.6	5.7	5.6	5.4	5.4	5.0	—	250	—	5~9	否
硫化物	2.1	1.6	0.4	0.9	1.2	1.5	1.2	5,310	250	21.2	1.0	是

- (3) 溶解性鐵 (Fe)：不論混合液或清洗液均合乎放流水標準 (10.0 mg/l)，且濃度不高，故對環境影響應較小。
- (4) 鋅 (Zn)：鋅是具有毒性的重金屬，但是本實驗廢水所含鋅之濃度並不高。由理論濃度與混合液實測濃度比較，可見實驗前配製之含鋅藥品 ($Zn(NO_3)_2$) 並未用完。清洗液與混合液之實測值均合乎放流水標準 (5.0 mg/l)，其值最高為 3.0 mg/l。
- (5) 氢離子濃度指數 (pH)：除了清洗液編號 1、2 之水樣 ($pH=4.6\sim4.9$) 不合乎法定放流水標準，其餘水樣均合乎放流水標準 (5~9)。
- (6) 鉛 (Pb)：除了清洗液編號 1、2、4 之水樣超過放流水標準 (1.0 mg/l) 外，其餘水樣均合格。理論濃度比混合液濃度大，乃因鉛的來源藥品 $Pb(C_2H_8O_2)_2$ 主要是潤濕濾紙嘗試紙用，所以用量較少。
- (7) 硫化物：僅有清洗液編號 3、4 之水樣 (0.4~0.9 mg/l) 符合放流水標準 (1.0 mg/l)，其餘水樣未合乎標準，但濃度超過不多，若能將原液收集後再排放，則污染強度可大大地降低。
- (8) 硝酸鹽氮 (NO_3^-)：混合液 (32.5 mg/l) 與清洗液 (21.5~45.3 mg/l) 均合乎放流水標準。

三、廢水水量及廢水水質推估結果：

(一) 廢水水量之推估結果：

1. 各器清洗水量之推估結果：本步驟乃在推估分析化學實驗所需之各種器皿的清洗水量，以作為總廢水量推估之基礎。其實驗所需器皿種類計有 22 種，每種器皿均清洗六次，求其平均值，即為清洗器皿所用之清洗水量，如表 6-1~6-2 所示。一般而言，容積越大之器皿其清洗水量越大，但也有例外者，例如：100 ml 燒杯之清洗水量比 250 ml 燒杯之清洗水量為大，可能因 100 ml 燒杯之體積較小，使得殘留於壁上之污染物質在使用相同毛刷清洗下，由於清洗不易反而需要更多之清洗水量。就離心試管而言，其最大與最小之清洗水量相差甚

表 6-1 各種器皿之清洗水量推估

(單位：公升)

次 數	名 稱	燒杯 50ml	燒杯 100ml	燒杯 250ml	燒杯 500ml	燒 杯 1,000 ml	燒瓶 250ml	燒瓶 500ml	量 筒 10ml	量 筒 100ml	滴定管	錐形瓶
1		5.6	4.2	4.7	6.8	8.4	7.6	12.2	2.0	4.8	2.8	16.8
2		4.2	5.7	3.1	4.3	7.0	4.8	4.4	1.3	4.4	4.5	6.1
3		4.6	5.2	3.2	4.8	6.9	5.2	6.7	1.8	4.2	3.1	9.7
4		5.2	4.5	2.9	6.1	7.7	5.6	8.8	1.6	3.6	3.6	11.7
5		4.3	7.2	4.1	5.4	6.5	6.6	8.2	1.4	4.5	4.0	12.3
6		4.2	3.3	4.1	4.4	8.0	5.5	6.4	2.1	5.4	3.0	8.7
平均值		4.7	5.0	3.7	5.3	7.4	5.9	7.8	1.7	4.5	3.5	10.9

表 6-2 各種器皿之清洗水量推估

(單位：公升)

次 數	名 稱	蒸發皿	吸 管	溫度計	漏 斗	富氏漏斗	錫玻璃	普通試管	離心試管	滴 管	玻 棒	堵 堡
1		5.0	1.7	1.0	3.5	5.7	6.2	4.0	5.4	1.4	1.2	4.2
2		4.6	1.2	1.9	1.1	4.8	5.8	3.8	2.7	1.5	1.8	2.4
3		4.4	1.1	1.3	2.0	4.7	6.1	4.2	4.7	1.2	1.5	2.6
4		3.8	1.4	1.7	1.8	3.9	5.8	3.8	2.6	1.3	1.7	3.3
5		6.0	1.6	1.5	1.9	6.0	5.4	3.0	5.8	1.6	1.5	3.2
6		4.3	1.0	1.0	2.9	5.4	6.5	5.2	3.3	1.2	1.3	2.8
平均值		4.7	1.3	1.4	2.2	5.1	6.0	4.0	4.1	1.4	1.5	3.1

大，此乃實驗者清洗習慣不同所致，清洗者可能藉水流將污染物質沖刷乾淨，而也有利用刷子慢慢清洗者，所以清洗水量相差甚大，但經六次實驗數值平均後得到之平均值，將符合中庸原則。溫度計、滴管、吸管等由於構造簡單，污染物質殘留機會小，可說是所有器皿中用水量最少者。但每次實驗過程中，滴管的使用次數最多，其用水量必須詳細累加。

2.每一分析化學實驗總廢水水量之推估：其結果如表 7 所示。其中總廢水水量最大者約為最小者之 4.9 倍，總廢水水量最大者為「鎳的重量分析測定」，因其使用之藥品較複雜，且儀器亦較多，器皿清洗次數頻繁，致總廢水水量最大。而總廢水水量最小之「陰離子第Ⅱ族之實驗」，使用之儀器較少，藥品亦較單純，故總廢水水量最少。依定性分析與定量分析化學各次實驗之總廢水水量觀之，定量分析實驗由於其消耗之藥品複雜，儀器之使用次數多，其總廢水水量遠比定性分析實驗多。由本研究所推估之十七次實驗總廢水水量的數據，可作為往後規劃實驗室廢水之管理體系，及設置廢水處理設備之參考。

3.原液體積推估：實驗過程所產生之原液體積的推估結果，如表 7 所示。原液體積最大者為「鐵的過錳酸根滴定法實驗」8.8 公升。原液體積最少者為「陰離子第Ⅱ族 (S^{2-} 、 $Fe(CN)_6^{4-}$ 、 $Fe(CN)_6^{3-}$ 實驗」，只有 0.08 公升。所有分析化學實驗整個年度所產生之原液體積計 35.88 公升，而廢水總體積計 16,648 公升。因整學年所產生之原液體積總計僅約 36 公升，體積甚小，收集容易，故收集後可以委託污水代處理業處理。

(二)控制排放濃度與自由排放濃度比值之推估：

本步驟模擬各種測定項目有關之分析化學實驗溶液，將其於盛裝器皿，並清洗之，分別估算實驗測定項目在清洗液中之質量佔總質量之比例。因原液體積平均只佔總廢水體積之 0.22%，所以，清洗液中某污染物之質量與該污染物的使用總量之比值即為控制排放濃度與自由排放濃度之比值，該比值我們稱為 R 值，以 R 表示。即

$$\text{控制排放濃度} = \text{自由排放濃度} \times R$$

R 值經由測定及推算之結果，如表 8 所示。各污染原液收集後，殘留在實驗器皿上而

表 7 實驗廢水之總水量與實驗原液之體積

	實驗名稱	總水量 (公升)	原液體積 (公升)
1	陽離子第I族 Pb^{+2} , Hg^{+2} , Ag^+	425	0.12
2	陽離子第II族 Hg^{+2} , Pb^{+2} , Bi^{+2} , Cu^{+2} , Cd^{+2} , $As(+3, +5)$, $Sb(+3, +5)$, $Sn(+2, +4)$	1,389	0.65
3	陽離子第III族 Cr^{+3} , Mn^{+2} , Fe^{+3} , Co^{+2} , Ni^{+3} , Al^{+3} , Zn^{+2}	1,012	0.51
4	陽離子第IV族 Ba^{+2} , Sr^{+2} , Ca^{+2}	799	0.26
5	陽離子第V族 NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Mg^{+2}	862	0.29
6	陰離子第I族 SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , CO_3^{-2} , SO_3^{-2}	592	0.15
7	陰離子第II族 S^{-2} , $Fe(CN)_6^{-4}$, $Fe(CN)_6^{-3}$	358	0.08
8	陰離子第III族 Cl^- , Br^- , I^-	544	0.11
9	陰離子第IV族 NO_3^- , $C_2H_3O^-$, MnO_4^-	607	0.15
10	鎳的重量分析法	1,757	4.80
11	硫酸鹽的重量分析法	1,294	4.80
12	氯鹽的沉澱滴定法	1,682	0.96
13	酸一鹼滴定	648	5.60
14	食用醋酸量之分析及碳酸鈉、碳酸氫鈉的測定	1,484	6.70
15	過氯酸的非水滴定	707	0.50
16	水的總硬度分析法	1,196	1.40
17	鐵的過錳酸根滴定法	1,292	8.80
總計		16,648	35.88

表 8 控制排放濃度與自由排放濃度之比值 ($R=X/1000$) $(R=X/1,000)$

測定項目 次數	X值	COD	硝酸 鹽氮	硫化 物	溶解 性錳	溶解 性鐵	鋅	銅	總鉻	鎳	鉛	銀	砷	鎘	總汞	CN ⁻
1	3.8	5.0	3.8	3.9	4.9	6.3	5.2	5.5	6.5	7.4	4.0	5.3	5.8	6.6	3.4	
2	4.3	5.0	5.2	4.1	4.8	6.9	4.5	4.6	5.0	3.9	3.6	6.2	4.8	5.6	4.0	
3	5.3	6.6	6.3	3.9	5.3	6.5	4.1	5.1	6.0	7.4	5.6	4.5	7.4	6.7	3.9	
4	4.0	4.5	6.8	4.4	4.4	7.0	4.5	4.9	5.4	5.6	4.9	5.7	6.8	6.0	5.7	
5	3.5	5.3	6.9	4.5	4.5	5.8	4.9	5.2	5.7	7.5	6.2	5.8	7.1	7.6	6.0	
6	3.7	4.8	7.0	6.2	4.9	7.0	4.3	4.7	6.3	5.9	5.1	6.7	4.7	7.7	4.0	
平均 值	4.1	5.2	6.0	4.5	4.8	6.6	4.6	5.0	5.8	6.3	4.9	5.7	6.1	6.7	4.5	

進入清洗溶液之量，其R值平均在 $4.1/1,000 \sim 6.7/1,000$ 之間，取其中間值約為 $5.5/1,000$ 。

(三)各實驗廢水之污染物質濃度推估：

分析化學實驗廢水各污染物質排放濃度之推估結果如表 9-1~10-2所示。茲按各污染項目之推估結果論述如下：

1. NO_3^-

(1)自由排放濃度：可能產生 NO_3^- 之分析化學實驗計有十一項，如表 9-1 所示。

NO_3^- 之自由排放濃度有定性實驗「陽離子之第Ⅱ、Ⅲ、V族」不合乎標準不合格率為 27.3%。其他實驗項目所排放的 NO_3^- 均低於法定放流水標準 (10 mg/l)

表 9-1 分析化學實驗室廢水之自由排放濃度推估值

(單位 : mg/l)

實驗名稱／測定項目	硝酸 鹽氮	硫化物	COD	鎳	鋅	鉛	鎘	砷
陽離子第Ⅰ族	267.00	—	—	—	—	48.71	—	—
陽離子第Ⅱ族	164.00	3.12	70.53	—	—	14.91	7.34	9.18
陽離子第Ⅲ族	99.30	62.01	293.50	2.92	3.21	—	—	—
陽離子第Ⅳ族	20.17	—	72.09	—	—	—	—	—
陽離子第Ⅴ族	122.30	0.39	25.25	—	—	—	—	—
陰離子第Ⅰ族	52.40	7.03	—	—	—	—	—	—
陰離子第Ⅱ族	33.01	14.12	0.85	—	17.30	2.75	—	—
陰離子第Ⅲ族	79.78	0.29	91.04	—	5.97	—	—	—
陰離子第Ⅳ族	10.22	50.92	440.60	—	—	—	—	—
鎳的重量分析法	5.64	—	54.17	0.74	—	—	—	—
硫酸鹽的重量分析法	—	3.40	—	—	—	—	—	—
氯鹽的沉澱滴定法	60.82	1.90	46.40	—	—	—	—	—
酸一鹼滴定	—	—	0.62	—	—	—	—	—
食用醋酸量之分析及碳酸鈉、碳酸氫鈉的測定	—	—	3.88	—	—	—	—	—
過氯酸的非水滴定法	—	—	3,540	—	—	—	—	—
水的總硬度分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
鐵的過錳酸根滴定法	—	152.70	—	—	—	—	—	—
法定放流水標準	100	1.0	300	1.0	5.0	1.0	0.1	0.5
超過放流水標準項目的百分率	27.3%	80%	16.7%	50%	33.3%	100%	100%	100%

由於 NO_3^- 可以提供水中藻類繁殖所需之養分，故 NO_3^- 過多，易造成河川、湖泊水城之優養化 (Eutrophication)；且可使嬰兒攝入後產生變性血紅蛋白症 (Methemoglobinemia) 之危險⁽²⁾。

(2)控制排放濃度：分析化學實驗之控制排放濃度的推估，如表10-1所示。所有推估排放實驗之 NO_3^- 值均遠低於法定放流水標準，其結果比表 9-1之自由排放濃度減少甚多（約為自由排放濃度之 5.2/1,000），故實驗室廢水之原液應加以收集，可大大減輕廢水處理之負荷。

2. CN^-

(1)自由排放濃度： CN^- 為一具有強烈毒性之物質，攝入微量即發生中毒、頭痛或死亡。本研究經推估可能產生 CN^- 之實驗計有兩項，其結果如表 9-2所示。「陰離子第Ⅱ族」之 CN^- 推估值為 4.98 mg/l。

表 9-2 分析化學實驗室廢水之自由排放濃度推估值

(單位：mg/l)

實驗名稱／測定項目	溶解性錳	溶解性鐵	總汞	總鉻	六價鉻	銀	銅	CN^-
陽離子第Ⅰ族	—	—	47.20	12.24	12.24	7.62	—	—
陽離子第Ⅱ族	—	0.20	8.04	3.74	3.74	0.78	2.30	0.56
陽離子第Ⅲ族	2.72	2.21	1.99	5.14	5.14	—	—	—
陽離子第Ⅳ族	—	—	—	6.51	6.51	—	—	—
陽離子第Ⅴ族	—	—	—	—	—	—	—	—
陰離子第Ⅰ族	—	—	—	—	—	—	—	—
陰離子第Ⅱ族	—	13.10	—	—	—	—	—	4.98
陰離子第Ⅲ族	—	—	—	—	—	—	—	—
陰離子第Ⅳ族	0.91	6.07	—	—	—	—	—	—
鎳的重量分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
硫酸鹽的重量分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
氯鹽的沉澱滴定法	—	0.0004	—	0.04	0.04	3.21	—	—
酸—鹼滴定	—	—	—	—	—	—	—	—
食用醋酸量之分析及碳酸鈉、碳酸氫鈉測定	—	—	—	—	—	—	—	—
過氯酸的非水滴定法	—	—	—	—	—	—	—	—
水的總硬度分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
鐵的過錳酸根滴定法	8.64	2.17	0.71	—	—	—	—	—
法定放流水標準	10.0	10.0	0.005	2.0	0.5	0.5	3.0	1.0
超過放流水標準項目的百分率	0%	16.7%	100%	60%	80%	100%	0%	50%

子第Ⅱ族 (S^{2-} 、 $Fe(CN)_6^{4-}$ 、 $Fe(CN)_6^{3-}$) 實驗」廢水之 CN^- 自由排放濃度為法定放流水標準 (1.0 mg/l) 四倍以上。 CN^- 對水中生物之毒性甚大，會使得魚、貝類大量死亡，並抑制河川水域之自淨作用；不處理逕行排放，對環境之衝擊相當嚴重。

(2)控制排放濃度： CN^- 之控制排放濃度推估值，如表 10-2 所示，均低於法定放流水標準甚多，因此，原液收集後 CN^- 之污染問題應可立即解決。

3. 溶解性鐵與溶解性錳

(1)自由排放濃度：本研究推估之結果，如表 9-2 所示，只有「陰離子第Ⅱ族 (S^{2-} 、 $Fe(CN)_6^{4-}$ 、 $Fe(CN)_6^{3-}$)」實驗廢水之自由排放濃度不合格，其餘大部份均甚低於法定放流水標準 (10.0 mg/l)。又因為兩者均存在於天然水中，且本身毒性不大，故只要稍加處理，應不致引起污染問題。

(2)控制排放濃度：其推估結果如表 10-2 所示，因控制排放濃度約為自由排放濃度之 $4.5/1,000 \sim 4.8/1,000$ ，故所有控制排放水樣之濃度值，均合乎法定放流水標準，且遠低於標準值。

4. 鋅 (Zn)

(1)自由排放濃度：鋅為人體生長的重要元素之一，其濃度在規定標準內不致於影響人體健康，但本研究推估結果如表 9-1 所示，計有三項且多超過放流水標準 (5.0 mg/l) $1 \sim 4$ 倍。飲用水中若鋅過量，將對人體健康有不良影響，應該嚴格控制實驗室之廢水排放。

(2)控制排放濃度：鋅之控制排放濃度推估結果如表 10-1 所示比自由排放濃度減低甚多（約為自由排放濃度之 $6.6/1,000$ ），且都達到法定放流水標準，故實驗室廢水原液加以收集後，鋅之污染問題並不嚴重。

5. 銅 (Cu)

(1)自由排放濃度：銅亦為人體所必需之元素，成人每天約需 2.0 mg，但如大量口服，將引起嘔吐，時間一久會造成肝中毒。推估結果如表 9-2 所示，只有一項實驗會排出銅，其推估之自由排放濃度不超過法定放流水標準 (3.0 mg/l)，故污染問題較小。

(2)控制排放濃度：分析化學實驗之銅的控制排放濃度推估，結果如表 10-2 所示，其值 0.011 mg/l 約為自由排放濃度之 $4.6/1,000$ ，合乎排放標準。

6. 總鉻 (Cr)

(1)自由排放濃度：因鉻其存在狀態不同可分為 Cr^{+6} 與 Cr^{+3} 兩種。鉻並不是人體組織所必需的物質，且 Cr^{+6} 毒性甚強，雖 Cr^{+3} 毒性較小，但若大量攝取易使人體產生尿毒症病變⁽²⁾。本研究推估結果如表 9-2 所示，可能排出鉻之實驗項目計有十項，其最高排放濃度可能高達 12.24 mg/l，為法定之放流水標準 ($Cr^{+6} 0.5 mg/l$ 、總鉻 2.0 mg/l) 之 $12 \sim 25$ 倍，對於環境之影響極為嚴重。

表10-1 分析化學實驗室廢水之控制排放濃度推估值

(單位: mg/l)

實驗名稱／測定項目	硝酸 鹽氮	硫化物	COD	鎳	鋅	鉛	鎘	砷
陽離子第I族	1.389	—	—	—	—	0.307	—	—
陽離子第II族	0.853	0.019	0.208	—	—	0.095	0.045	0.053
陽離子第III族	0.517	0.372	1.204	0.016	0.021	—	—	—
陽離子第IV族	0.105	—	0.295	—	—	—	—	—
陽離子第V族	0.636	0.006	0.108	—	—	—	—	—
陰離子第I族	0.281	0.042	—	—	—	—	—	—
陰離子第II族	0.180	0.089	0.003	—	0.120	0.018	—	—
陰離子第III族	0.415	0.002	0.373	—	0.040	—	—	—
陰離子第IV族	0.053	0.306	1.087	—	—	—	—	—
鎳的重量分析法	0.029	—	0.223	0.004	—	—	—	—
硫酸鹽的重量分析法	—	0.007	—	—	—	—	—	—
氯鹽的沉澱滴定法	0.317	0.012	0.190	—	—	—	—	—
酸一鹼滴定	—	—	0.002	—	—	—	—	—
食用醋酸量之分析及碳酸鈉、碳酸氫鈉測定	—	—	0.016	—	—	—	—	—
過氯酸的非水滴定法	—	—	14.539	—	—	—	—	—
水的總硬度分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
鐵的過錳酸根滴定法	—	0.916	—	—	—	—	—	—
法定放流水標準	100	1.0	300	1.0	5.0	1.0	0.1	0.5
超過放流水標準項目的百分率	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

(2)控制排放濃度：鉻之控制排放濃度的推估結果如表10-2所示。與自由排放濃度之比值，約為 5.0/1,000，顯示原液收集後之濃度減少極多，且已合乎法定放流水標準，污染問題大大減輕。

7. 鎳 (Ni)

(1)自由排放濃度：本研究推估結果顯示「第II族陽離子測定」及「鎳之重量分析實驗」可能排出鎳，如表 9-1 所示，自由排放濃度 2.92 mg/l，高出法定放流水標準 (1.0 mg/l) 2 ~ 3 倍。一般實驗室廢水含鎳之情況並不普遍，與鉻、鎘、汞等重金屬比較其毒性較小，若能妥善處理，則對環境之衝擊並不嚴重。

(2)控制排放濃度：其推估結果如表10-1所示，濃度分別為 0.004 mg/l 及 0.016 mg/l，約為自由排放濃度之 5.8/1,000，遠低於放流水標準 (1.0 mg/l)。

8. 鉛 (Pb)

- (1)自由排放濃度：鉛為著名的累積性物質⁽²⁾，進入人體之量太多，可引起鉛中毒；
鉛對水中微生物分解有機物的能力亦具有抑制作用。本研究結果顯示有三項實驗可能排放鉛，推估結果如表 9-1所示，最高自由排放濃度為 48.71 mg/l，為法定放流水標準 (1.0 mg/l) 之 48~49 倍，因此若廢水自由排放，將對環境中之人們及其他生物造成莫大威脅。
- (2)控制排放濃度：推估如表 10-1所示，鉛之控制排放濃度為自由排放濃度的 6.3/1 000，其濃度為 0.075~0.307 mg/l，與放流水標準 (1.0 mg/l) 相比較，均屬合格。

表10-2 分析化學實驗室廢水之控制排放濃度推估值

(單位 : mg/l)

實驗名稱／測定項目	溶解性錳	溶解性鐵	總汞	總鉻	六價鉻	銀	銅	CN ⁻
陽離子第 I 族	—	—	0.317	0.062	0.062	0.038	—	—
陽離子第 II 族	—	0.001	0.039	0.019	0.019	0.004	0.011	0.00
陽離子第 III 族	0.012	0.011	0.013	0.005	0.005	—	—	—
陽離子第 IV 族	—	—	—	0.033	0.033	—	—	—
陽離子第 V 族	—	—	—	—	—	—	—	—
陰離子第 I 族	—	—	—	—	—	—	—	—
陰離子第 II 族	—	0.066	—	—	—	—	—	0.02
陰離子第 III 族	—	—	—	—	—	—	—	—
陰離子第 IV 族	0.004	0.029	—	—	—	—	—	—
鎳的重量分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
硫酸鹽的重量分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
氯鹽的沉澱滴定法	—	T	—	T	T	0.016	—	—
酸一鹼滴定	—	—	—	—	—	—	—	—
食用醋酸量之分析及碳酸鈉、碳酸氫鈉測定	—	—	—	—	—	—	—	—
過氯酸的非水滴定法	—	—	—	—	—	—	—	—
水的總硬度分析法	—	—	—	—	—	—	—	—
鐵的過錳酸根滴定法	0.039	0.003	0.005	—	—	—	—	—
法定放流水標準	10.0	10.0	0.005	2.0	0.5	0.5	3.0	1.
超過放流水標準項目的百分率	0%	0%	75%	0%	0%	0%	0%	0%

說明：表中之“T”表微量。

9. 銀 (Ag)

- (1)自由排放濃度：銀雖屬貴重金屬，但其在環境中為一具累積性之毒性物質；銀之慢性中毒能使皮膚呈永久性暗藍色，量過高將使人致命⁽²⁾。分析化學實驗可能排放銀者有三項實驗，其自由排放濃度之推估結果如表9-2所示，濃度最高為 7.62 mg/l，高出放流水標準 (0.5 mg/l) 甚多。
- (2)控制排放濃度：銀之控制排放濃度推估值為 0.004~0.04 mg/l，如表 10-2所示。其推估結果約為自由排放濃度之 4.9/1,000，且已經合乎放流水標準，可見廢水之原液收集，可使廢水中銀的濃度降低甚多。

10. 砷 (As)

- (1)自由排放濃度：砷之毒性甚強，人體攝取少量即可致命。本研究結果顯示只有一項實驗可能排放砷，如表 9-1 所示。其排放濃度為 9.18 mg/l，比法定排放標準 (0.5 mg/l) 高出 18倍。砷被認為與烏腳病病例之產生有關，應嚴加管制以免危害大眾。
- (2)控制排放濃度：表 10-1所示為砷之控制排放濃度，其推估值為 0.053 mg/l，低於法定放流水標準 (0.5 mg/l)，為自由排放濃度之 5.7/1,000。故原液收集對污染之降低，可收事半功倍之效。

11. 鎘 (Cd)

- (1)自由排放濃度：鎘 (Cd) 為一具累積毒性之重金屬，進入人體後聚集於肝、腎，會使血液中鈣、磷含量減少，引起骨骼萎縮、軟化，以致死亡。廢水中鎘含量過高，排放至自然界後，易經由「生物累積」及「生物放大」作用，使得魚、貝類體內含量過高，人們於食用後會產生「痛痛病」。本研究推估可能排放鎘之實驗只有一項，如表 9-1所示，其自由排放濃度為 7.34 mg/l，約為法定放流水標準之73倍。
- (2)控制排放濃度：分析化學實驗中鎘的控制排放濃度推估值為 0.037 mg/l，如表 10-1所示，約為自由排放濃度的 6.1/1,000，原液收集後其清洗液中鎘之濃度已降低甚多，且合乎放流水標準 (0.1 mg/l)。

12. 總汞 (Hg)

- (1)自由排放濃度：汞之化學活性極低，不溶於水，但汞之化合物對水有高度之溶解性；有機汞比無機汞之毒性更高，有機汞會破壞人體之中樞神經系統⁽²⁾，由於汞在人體內排出困難，其危害將更嚴重。由本研究結果顯示，分析化學實驗可能排出汞之實驗計有四項，最高之自由排放濃度為 47.20 mg/l，為法定放流水標準 (0.005 mg/l) 之 9,400倍以上。汞只要微量，對人體健康就有危害，如果不能有效防制，則日本水俣病之病例將在臺灣重現，因此有效之管制措施實不宜遲。
- (2)控制排放濃度：分析化學實驗之汞的控制排放濃度推估值，如表10-2所示為 0.005 ~0.317 mg/l。其推估結果比表 9-2之自由排放濃度減少很多，約為其 6.7/1,000，唯控制排放濃度仍高於放流水標準。因此，將原液分開收集，回收原液中之汞，並設置處理設備來處理清洗液中之汞為澈底解決之道。

13. 硫化物

- (1)自由排放濃度：分析化學實驗可能產生硫化物者計有十項，如表 9-1所示硫化物之自由排放濃度中，僅「陽離子第V族」及「陰離子第Ⅲ族」合乎法定放流水標準(1.0 mg/l)，其餘均超過法定放流水標準 $1\sim 150$ 倍以上。而硫化物過多易造成水中之臭味、混濁現象及溶氧降低，故應該控制含硫過量之實驗室廢水排放。
- (2)控制排放濃度：其推估值如表 10-1所示，硫化物濃度介於 $0.002\sim 0.372 \text{ mg/l}$ 之間，推估結果比表9-1之自由排放濃度減少甚多，約為自由排放濃度之 $4.5/1,000$ ，故實驗室廢水之原液應加以收集，以減輕廢水處理之負荷。

14. 化學需氧量 (COD)

- (1)自由排放濃度：COD 乃是以強氧化劑氧化分解水中之有機物，以水樣所消耗之氧化劑量換算為氧的當量來表示水中的有機物量⁽²⁾。本研究之推估結果如表 9-1所示，計有十二項實驗，僅有兩項實驗超過法定放流水標準(300 mg/l)的 $1\sim 12$ 倍，大部分均合乎排放標準。
- (2)控制排放濃度：分析化學實驗之 COD 控制排放濃度的推估值如表10-1所示，濃度為 $0.002\sim 14.539 \text{ mg/l}$ ，完全合乎排放標準，約為自由排放濃度的 $4.1/1,000$ ，故實驗室之廢水原液加以收集後，COD 之污染問題不大。

由污染物之自由排放濃度與控制排放濃度比較，控制排放濃度約為自由排放濃度的 $4.1/1,000$ 至 $6.7/1,000$ 之間，因此，實驗室廢水中原液之分開收集，對於實驗室廢水污染之降低，可得立竿見影之效，亦可於未來設置實驗室廢水處理設備時降低進流水之濃度負荷，減少處理經費，提高處理效率。

而由各項污染物濃度之推估發現，分析化學實驗室問題中，最嚴重者為重金屬；重金屬中又以總鉻、鉛、鎘及總汞令人感到高度憂慮，其自由排放濃度高達法定放流水標準的 $6\sim 9,400$ 倍，由此推估臺灣地區數以萬計之實驗室自由排放之污染物，不能等閒視之，有關單位應擬出具體對策加以解決，才不致遭禍子孫。

伍、結論與建議

一、結論

1. 本研究實地測定分析化學實驗室廢水，於 200個水樣中，計有66個超過放流水標準，其不合格率為33%。

2. 分析化學實驗室廢水之推估結果顯示，整年度之自由排放濃度72個水樣，計有37個超過放流水標準；其中以總汞之自由排放濃度高達 47.20 mg/l 為法定排放標準之 $9,400$ 倍，最令人擔憂。

3. 預估整年度分析化學實驗之控制排放濃度，除了總汞仍未能達到排放標準外，其餘符合法定放流水之排放標準。

4. 由控制排放濃度與自由排放濃度之比值(R)可知，R 值約為 $4.1/1,000\sim 6.7/1,000$ ，其中間值約為 $5.5/1,000$ ，因此，將原液收集可使污染之降低，收立竿見影之效。

5.整年度分析化學實驗室廢水之總廢水量推估值為 16,648公升 (約16.6 m³)，而原液總體積為35.8公升。

二、建議：

1. 實驗室廢水中某些物質會對河川品質造成危害，經過本研究調查推估結果顯示，亦有甚多項目超過放流水標準，故本研究建議，應將實驗室廢水之原液，加以收集，不可自由排放。
2. 實驗室廢水除將原液收集外，應考慮設置小型污水處理設備，或委託廢水代處理業定期到校收集處理，以避免污染環境。

三、參考文獻

1. 龜山猶一著，戴瑞益、柯順隆譯，「分析化學試藥配製法」，p 158, p 138~139, p 173, p 358~359, p 354, p 93，正文書局，1981。
2. 張柏成、朱正先、胡苔莉、梁正中、郭鍾秀、李文智，「環境與公害」，第五章，逢甲大學環境科學系編印，1988。
3. 吳宗榮、蔡基勇，「水及廢水分析」，第八版，p 33~390，復文書局，1969。
4. Alfred B. Garrett, Harry H. Sisler, James Bonk, R. Carl Stoufer, 蘇癸陽編譯，「半微量定性分析」，修定六版，p 26~170，復文書局，1986。

柒 附 錄

附錄表 1-2 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陽離子第II族：含砷副族及銅副族離子的水樣。

1. 砷副族： $\text{As}(+3, +5)$, $\text{Sb}(+3, +5)$, $\text{Sn}(+2, +4)$ 。2. 銅副族： Hg^{+2} , Pb^{+2} , Bi^{+2} , Cu^{+2} , Cd^{+2} 。

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. HNO_3 (4N, 6N, 16N) 各 100ml	15. CH_3CSNH_2 (TA 5%) 3g	1. 電動離心機 1 台
2. NaOH 3M 100ml	16. HCl 12N 100ml	2. 濾紙 數張
3. $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 6N 100ml	17. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.5M 100ml	3. 酒精燈 1 個
4. NH_4OH 15N 150ml	18. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 10g	4. 本生燈 1 個
5. $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ 5g	19. $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 3M 100ml	5. 試管架 一個
6. $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6$ 0.5M 100ml	20. $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ 0.05M 100ml	6. 玻棒 2 次
7. $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$ 0.3M 100ml	21. $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 1M 100ml	7. 滴管 24 次
8. $\text{Bi}(\text{NO}_3)_2$ 0.2M 100ml	22. $\text{Cu}(\text{ON}_3)_2$ 0.5M 100ml	8. 離心試管 11 次
9. $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 1M 100ml	23. As_2O_3 0.2M 50ml	
10. Na_3AsO_4 0.3M 50ml	24. $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 1M 100ml	
11. 王水 (其中 16N HNO_3 28g) ⁽¹⁾	25. SbCl_3 0.3M 50ml	
12. SbCl_3 0.1M 50ml	26. HCl 6N 50ml	
13. AgNO_3 0.1M 100ml	27. HgCl_2 0.1M 100ml	
14. SnCl_2 0.5M 50ml	28. SnCl_4 0.3M 50ml	

說明：1. 實驗組數：17組，每組 3 人，共 51 人。 2. 實驗時間 75 年 10 月 8 日，13:40。

附錄表 1-3 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陽離子第III族：含 Cr^{+3} , Mn^{+2} , Fe^{+3} , Co^{+2} , Ni^{+2} , Al^{+3} , Zn^{+2} 等離子的水樣。

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 0.5M 100ml	14. FeSO_4 0.2M 50ml	1. 電動離心機 1 台
2. $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$ 0.5M 100ml	15. $(\text{NH}_4)_2\text{S}$ 0.5M 100ml	2. 蒸發皿 1 個
3. $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2$ 0.5M 100ml	16. HCl (1N, 6N, 12N) 各 50ml	3. 酒精燈 1 個
4. $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ 0.5M 100ml	17. NH_4SCN 1M 100ml	4. 本生燈 1 個
5. $\text{Al}(\text{NO}_3)_3$ 0.3M 100ml	18. HgCl_2 0.1M 100ml	5. 試管夾 1 個
6. FeCl_3 0.2M 50ml	19. CH_3COCH_3 70g	6. 石蕊試紙 (紅、藍)
7. $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$ 0.2M 100ml	20. HNO_3 (6N, 16N) 各 50ml	7. 滴管 22 次
8. NH_4Cl 6N 50ml	21. $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ 71g	8. 離心試管 7 次
9. NH_4OH (15N, 6N) 各 50ml	22. $\text{HC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 6N 100ml	
10. NaOH 6N 100ml	23. $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ 3M 100ml	
11. H_2O_2 3% 100ml	24. $(\text{CH}_3)_2\text{C}_2(\text{NOH})_2$ 0.5g ⁽¹⁾	
12. Aluminon 1M 100ml	25. H_2SO_4 18N 100ml	
13. KIO_4 1g	26. NH_4I 10g	

說明：1. 實驗組數：17組，每組 3 人，共 51 人。 2. 實驗時間 75 年 10 月 22 日，13:40。

附錄表 1-4 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陽離子第IV族：含 Ba^{+2} , Sr^{+2} , Ca^{+2} 等離子的水樣分離

藥品	用	量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. NH_4Cl	3M	100ml	8. $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ 1.5M 100ml
2. NH_4OH	3N	100ml	9. $\text{HC}_2\text{H}_8\text{O}_2$ 6N 100ml
3. $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_2$	3M	100ml	10. $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0.5M 100ml
4. HCl	12N	50ml	11. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.25M 100ml
5. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	0.3M	100ml	12. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 0.5M 100ml
6. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	0.5M	100ml	
7. $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$	0.5M	100ml	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年10月29日，13:40。

附錄表 1-5 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陽離子第V族：含 Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , NH_4^+ 等離子水樣

藥品	用	量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	0.25M	100ml	8. $\text{Na}_3\text{CO}(\text{NO}_2)_6$ 0.1M 100ml
2. $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$	0.3M	100ml	9. $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 0.5M 100ml
3. HNO_3	16N	100ml	10. NH_4Cl 2M 100ml
4. $\text{HC}_2\text{H}_8\text{O}_2$	6N	50ml	11. NaCl 100ml
5. HCl	12N	50ml	12. KCl 1M 100ml
6. $\text{Mg}(\text{VO}_2)_6(\text{C}_2\text{H}_8\text{O}_2)_6$	0.1M	50ml	
7. 含 P-netrobenzeneazoresorcinol 的 NaOH	2N	100ml	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年11月4日，13:40。

附錄表 1-6 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陰離子第I族：含 SO_4^{-2} , PO_4^{-3} , CO_3^{-2} , SO_3^{-2} 等離子水樣

藥品	用	量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. Na_2CO_3	0.5M	100ml	7. Na_2SO_4 0.8M 100ml
2. Na_2SO_3	0.5M	100ml	8. Na_2HPO_4 0.3M 100ml
3. HCl	6N	50ml	9. H_2SO_4 2N 50ml
4. H_2O_2	3%	1.5g	10. HNO_3 6N 50ml
5. $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$	1M	100ml	11. $\text{Ba}(\text{OH})_2$ 150ml
6. $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	1N	50ml	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年12月9日，13:40。

附錄表 1-7 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陰離子第Ⅱ族：含 S^{2-} , $Fe(CN)_6^{4-}$, $Fe(CN)_6^{3-}$ 等離子的水樣

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清潔次數
1. $(NH_4)_2S$	1M 100ml	6. NH_4OH 50ml
2. $K_3Fe(CN)_6$	0.07M 100ml	7. $K_4Fe(CN)_6$ 0.05M 100ml
3. $Zn(NO_3)_2$	1M 100ml	8. $FeCl_3$ 0.2M 50ml
4. $Pb(C_2H_3O_2)_2$	0.1M 50ml	9. $FeSO_4$ 10g
5. HCl	6N 50ml	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年12月9日，13:40。

附錄表 1-8 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陰離子第Ⅲ族：含 Cl^- , Br^- , I^- 等離子的水樣

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清潔次數
1. NaCl	1M 100ml	6. NaBr 1M 100ml
2. NaI	1M 100ml	7. NH_4OH 0.5M 50ml
3. HNO_3	6N 100ml	8. $(NH_4)_2S$ 0.1M 50ml
4. $Zn(NO_3)_2$	1M 50ml	
5. CCl_4	150ml	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年12月16日，13:40。

附錄表 1-9 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

陰離子第Ⅳ族：含 NO_3^- , $C_2H_3O_2^-$, MnO_4^- 等離子的水樣

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清潔次數
1. $NaNO_3$	1M 100ml	6. C_2H_5OH 183g 100ml ⁽¹⁾
2. $NaC_2H_3O_2$	1M 100ml	7. $Ba(C_2H_3O_2)_2$ 50ml
3. $KMnO_4$	0.1M 100ml	8. $Na_2CO_3(s)$ 10g
4. H_2SO_4	2N 50ml	
5. $FeSO_4$	10g	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年12月16日，13:40。

附錄表1-10 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

鎳的重量分析法 (Gravimetric Determination of Nickel)

藥 品 用 量			每組所用儀器及其清洗次數				
1. HNO ₃	16N	10ml	1. 烤箱	7. 量筒	10ml	1 次	
2. Ni		1.3g	2. 酒精燈	1 個	8. 量筒	100ml	1 次
3. NH ₄ OH		0.5M 少量	3. 無灰濾紙		9. 滴管	5 次	
4. HCl	6N	1,000ml	4. 過濾漏斗		10. 溫度計	2 次	
5. Dimethyl glyoxime	1%	酒精溶液 1 l ⁽¹⁾	5. 烧杯	250ml 1 次	11. 燈瓶	1,000ml 1 次	
6. C ₆ H ₆ O ₆	110g	[含 (CH ₃) ₂ C ₂ (NOH) ₂ 1.2g]	6. 錐形瓶	250ml 1 次			

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年2月25日，13:40。

附錄表1-11 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

硫酸鹽的重量分析法 (Gravimetric Determination of Sulfate)

藥 品 用 量			每組所用儀器及其清洗次數				
1. Na ₂ SO ₄ (s)		10g	1. 烘箱	7. 燒杯	500ml	2 次	
2. BaCl ₂		20g	2. 灰化爐	8. 燒杯	1,000ml	2 次	
3. HCl	12N	500ml	3. 無灰濾紙	9. 量筒	10ml	3 次	

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年3月1日，13:40。

附錄表1-12 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

氯鹽的沉澱滴定法 (Precipitation-titration analysis of Cl⁻)

藥 品 用 量			每組所用儀器及其清洗次數				
1. NaCl		1g	6. AgNO ₃	0.1N	50ml	1. 錐形瓶	3 次
2. NaHCO ₃		少量	7. HNO ₃	16N	100ml	2. 滴定管	50ml 3 次
3. K ₂ CrO ₄		5g	8. KSCN	0.1N	1,000ml	3. 量筒	10ml 5 次
4. C ₆ H ₅ NO ₂		50g				4. 吸管	25ml 3 次
5. FeNH ₄ (SO ₄) ₂ ·12H ₂ O		0.1M 50ml ⁽¹⁾				5. 滴管	5 次

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年3月18日，13:40。

附錄表1-13 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

酸—鹼滴定法 (Acid-Base titration)

藥品	用	量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. $C_6H_4 \cdot COOC(C_6H_4OH)_2$ (phenol phthalein)		0.2g 20ml ⁽¹⁾	1.燒瓶 250ml 2次
2. BaCl ₂	少量		2.吸管 3次
3. NaOH	61g		3.滴定管 3次
4. HCl	0.1N 1,000ml		4.燒杯 500ml 2次
5. KHP	10g		

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間75年3月25日，13:40。

附錄表1-14 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

食用醋酸量之分析及碳酸鈉、碳酸氫鈉之測定 (Analysis of Vinegar for its acid constant)

藥品	用	量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. Vinegar	5g	6. HCl 0.1N 100ml	1.滴定管 4次
2. CO ₂ -free D. W.		7. BaCl ₂ 10% 200ml	2.量筒 10ml 2次
3. NaOH	2g		3.量筒 100ml 2次
4. Bromocresol Green Indicator	0.02g ⁽¹⁾		4.燒瓶 250ml 2次
5. Phenolphthalein Indicator	0.2g ⁽¹⁾		5.燒杯 1,000ml 3次
			6.吸管 4次

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年4月1日，13:40。

附錄表1-15 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

過氯酸的非水滴定法 (Perchloric Acid Nonaqueous Titration-HClO₄)

藥品	用	量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. KHP	14g	5. Crystal Violet Indicator	1.滴定管 2次
2. Acetyl Anhydride	10ml	6. glacial acetic acid 21	2.錐形瓶 2次
3. Chlopheniramine maleate ($C_{18}H_{19}ClN_2 \cdot C_4H_4O_4$) ^(s)	6g		3.燒瓶 500ml 2次
4. HClO ₄ (4.5m 72% HClO ₄ ·2H ₂ O + glacial acetic acid+acetic anhydride)	0.1M 500ml		4.量筒 100ml 2次
			5.吸管 2次
			6.滴管 2次

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年4月29日，13:40。

附錄表1-16 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

水的總硬度分析法 (Determination of Total Hardness in Tap Water)

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. EBT indicator	6. Ammonia buffer (pH=10)	1.本生燈 1個
2. NaOH 0.5g	7. HCl 12N 100ml	2.燒瓶 250ml 2次
3. MgCl ₂ ·6H ₂ O 0.1g	8. Ca ⁺⁺ sol'n 0.1M 20ml	3.燒杯 500ml 2次
4. CaCO ₃ 14g		4.量筒 100ml 3次
5. EDTA (Na ₂ H ₂ Y·2H ₂ O) 0.01M 500ml		5.錫玻璃 2次
		6.滴管 2次
		7.滴定管 2次
		8.溫度計 3次
		9.吸管 5次

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年5月6日，13:40。

附錄表1-17 分析化學實驗之藥品用量及每組儀器之清洗次數

鐵的過錳酸根滴定法 (Permanganimetric Determination of Iron)

藥 品	用 量	每組所用儀器及其 清洗次數
1. KMnO ₄ (s) 3.2g	6. HCl 12N 500ml	1.本生燈 1個
2. Na ₂ C ₂ O ₄ 4g	7. SnCl ₂ 1M 100ml	2.量筒 10ml 2次
3. H ₂ SO ₄ 18M 200ml	8. HgCl ₂ 5% 25g	3.量筒 100ml 2次
4. Fe ₂ O ₃ (s) (32%純度) 4g		4.燒杯 1,000ml 2次
5. Zimrrermann-Reinhardt (MnSO ₄ ·4H ₂ O 70g + H ₂ SO ₄ 18M 125ml + H ₃ PO ₄ 85% 125ml) Reagent		5.燒杯 250ml 2次
		6.溫度計 2次
		7.吸管 2次
		8.滴定管 2次
		9.滴管 4次
		10.錫玻璃 2次

說明：1. 實驗組數：17組，每組3人，共51人。 2. 實驗時間76年5月13日，13:40。