

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

碩士論文



以氯化鈣取代氫氧化鈣作為染料廢水混凝藥劑  
之研究

Coagulant Replacement Study Using  $\text{CaCl}_2$  instead of  
 $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in a Dyeing Manufacturing Plant

研究生：許瑞明

指導教授：周珊珊博士

黃志彬博士

中華民國 102 年 7 月

以氯化鈣取代氫氧化鈣作為染料廢水

混凝藥劑之研究

Coagulant Replacement Study Using  $\text{CaCl}_2$  instead of  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  in a Dyeing  
Manufacturing Plant

研究生：許瑞明

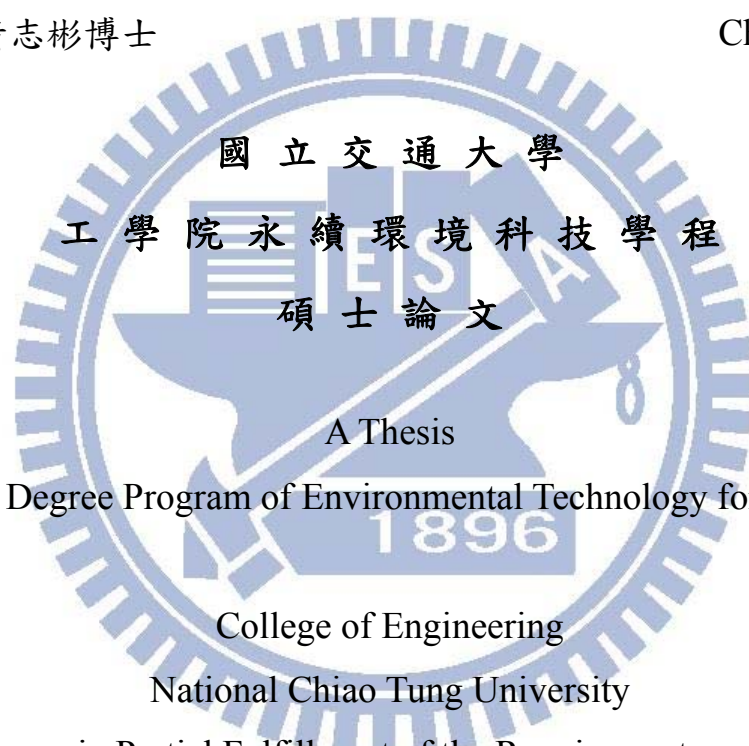
Student : Jui Ming Shu

指導教授：周珊珊博士

Advisor : Shan-shan Chou

黃志彬博士

Chihpin Huang



Submitted to Degree Program of Environmental Technology for Sustainability

College of Engineering

National Chiao Tung University

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

In

Environmental Technology for Sustainability

July 2013

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 102 年 7 月

# 以氯化鈣取代氫氧化鈣作為染料廢水

## 混凝藥劑之研究

研究生：許瑞明

指導教授：周珊珊博士

黃志彬博士

國立交通大學

工學院永續環境科技學程

### 摘要

染料工業是屬於高污染行業，對於其製程廢水高色度、高鹽類的特質，混凝操作一般是最具經濟效益的前處理程序。而使用氫氧化鈣於化學混凝中是許多工廠普遍使用的操作方法，雖然能夠提供鹼度且能吸附廢水中的染料分子大幅降低色度，但也由於氫氧化鈣的加入而產生大量的污泥，且於配製過程中容易在空氣中溢散，影響作業人員的健康。

本研究以實廠單一染料製程廢水與綜合廢水進行實驗，比較氯化鈣與氫氧化鈣兩者之間的混凝效果。結果顯示在 COD 與色度去除效能比較上，添加氫氧化鈣與氯化鈣兩者差異不大，但添加氯化鈣卻無污泥過多以及加藥過量之風險。雖然實驗數據顯示氯化鈣添加量的多寡對於 COD 去除效能並無很明顯的幫助，但對於某些廢水添加氯化鈣是有助於去除色度。最後並以瓶杯實驗求得最適參數為氯化鈣劑量為 2.6 g/L，硫酸亞鐵劑量建議為 5.7 g/L，氯化鈣加藥點則在硫酸亞鐵之後加入。而於實廠測試中使用氯化鈣每噸廢水費用也比氫氧化鈣便宜，主要是因為污泥量減少了 32%。且氯化鈣同樣具有幫助污泥脫水、提升膠羽沉降以及減少污泥量等優點。

關鍵字：氯化鈣、混凝、氫氧化鈣、染料廢水

# **Coagulant Replacement Study Using $\text{CaCl}_2$ instead of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in a Dyeing Manufacturing Plant**

Student: Jui Ming Shu

Advisors: Dr. Chou Shan-shan

Dr. Huang Chinpin

**Degree Program of Environmental Technology for Sustainability**

**College of Engineering**

**National Chiao Tung University**

## **Abstract**

Dyeing industry which is one of the highly polluting industries produces a great quantity of high color and high salinity wastewater. Chemical coagulation is generally the most cost-effective process. In most factories, calcium hydroxide is extensively used as coagulants since it can provide alkalinity and absorb dye compounds resulting in significantly reducing color in dye wastewater. However, a large amount of waste sludge is produced during the addition of calcium hydroxide in dye wastewater. Moreover, during the preparation of calcium hydroxide coagulants, calcium hydroxide fine particles are easily suspended in the air which is harmful for the workers.

Therefore, in this study, the feasibility of replacing calcium hydroxide by calcium chloride as an alternative coagulant was investigated in treating dye wastewater. In this study, a real stream of dye wastewater and composite dye wastewater were applied to compare the coagulation performance using calcium hydroxide and calcium chloride. The results showed that the removal performance of COD and color in addition of calcium hydroxide and calcium chloride as coagulants were similar in a single stream of dye wastewater or integrated dye wastewater. Nevertheless, in addition of calcium chloride resulted in less sludge production and prevention in over dosage. Although the experimental data showed that higher dosage of calcium chloride had little effect

on COD removal, in some wastewater, addition of higher dosage of calcium chloride can improve decolorization. In jar tests, the optimal dosage of calcium chloride and ferrous sulfate were 2.6 g/L and 5.7 g/L, respectively. And the calcium chloride dosing point was right after adding the ferrous sulfate. In real wastewater application, it was found that the cost of treating per ton of dye wastewater was cheaper by using calcium chloride than calcium hydroxide, mainly due to a 32% reduction of sludge. Furthermore, by using calcium chloride as the alternative coagulant, it can improve the sludge dewaterability, floc settlement and reduce sludge production.

Keywords: calcium chloride , coagulation, calcium hydroxide, dye wastewater





## 致謝

在碩士論文快完成的同時，回首當初抱著想一圓碩士夢，所以報名了交大碩專班的考試，但自小就不擅長念書的自己，只能憑藉每天下班後留下來自習研讀，所幸這樣的努力能夠有好的結果，順利考取。但從考上到今日，歷經七年的時間，遇到了學習過程中的阻礙與工作上的挑戰不斷，甚至因工作需要而被調離職位。種種的困難都讓我一度想要放棄。但總是因為懷抱著我一定要畢業的信念，所以才支持著我直到現在。過程中非常感謝周珊珊 教授在這期間從沒放棄過我，使我能夠至今還能夠一圓我的夢想。

人的一生中能得到多少貴人的幫助，我真的非常幸運，得到許許多多的人對我協助。感謝黃志彬 教授和袁如馨 教授對於我在論文研究上的指導。感謝在永光化學二廠的合一課同仁，您們在我準備研究所考試時給我莫大的幫助；感謝工研院的 陳博士、廖啟鐘博士、阿欽以及世如學長您們無私的提供我在實驗過程所需要的資源與指導；感謝交大環工所的志麟博士、銘佑、教導我如何進行正確的論文實驗與撰寫；最後就是要感謝永光化學的長官們對於我的支持與體諒，以及二廠環保部及環保課的弟兄們協助，讓我能無後顧之憂的完成我的論文。

最後感謝默默支持著我的家人，以及我的女友 金蓮 您們永遠是我最大的支柱，由衷的感謝您們。因為有你們才能使我完成碩士學位的夢想。

許瑞明 謹誌於

國立交通大學

中華民國102年7月

# 目錄

摘要 .....	I
Abstract .....	II
致謝 .....	IV
目錄 .....	V
表目錄 .....	VII
圖目錄 .....	VIII
第一章 前言 .....	1
1.1 研究背景與緣起 .....	1
1.2 研究目的 .....	2
第二章 文獻回顧 .....	3
2.1 染料概論 .....	3
2.1.1 合成染料起源 .....	3
2.1.2 染料發色團理論 .....	3
2.1.3 染料之分類 .....	4
2.1.4 染料之合成 .....	7
2.2 染料廢水特性與處理技術 .....	8
2.2.1 染料廢水特性 .....	8
2.2.2 染料廢水處理技術 .....	8
2.2.3 化學混凝反應機制 .....	9
2.2.4 氯化鈣與氫氧化鈣之比較 .....	11
第三章 實驗設備與方法 .....	12
3.1 染料廢水處理廠實例研究 .....	12
3.2 研究架構 .....	15

3.3 實驗設備與藥品 .....	17
3.3.1 實驗設備 .....	17
3.3.2 實驗藥品 .....	18
3.4 檢測項目及方法 .....	19
3.4.1 pH 之測定 .....	19
3.4.2 色度檢測方法 .....	19
3.4.3 化學需氧量檢測方法與氯鹽干擾排除 .....	19
3.4.4 氯鹽檢測方法 .....	19
3.5 實驗步驟 .....	20
<b>第四章 結果與討論 .....</b>	<b>28</b>
4.1 實驗水樣水質特性 .....	28
4.2 單一染料廢水於混凝中添加氯化鈣最適化操作參數評估 .....	30
4.2.1 氯化鈣可行性分析 .....	30
4.2.2 硫酸亞鐵加藥量對單一染料廢水混凝中添加氯化鈣之影響 .....	33
4.2.3 氯化鈣加藥量對單一染料廢水於混凝中之影響 .....	37
4.2.4 硫酸亞鐵與氯化鈣加藥順序對染料廢水混凝之影響 .....	42
4.3 現場綜合廢水添加氯化鈣實驗 .....	44
4.3.1 不同加藥組合對綜合廢水之影響 .....	44
4.3.2 氯化鈣實廠添加效益評估 .....	50
4.3.3 氯化鈣實廠添加操作費用評估 .....	51
<b>第五章 結論與建議 .....</b>	<b>53</b>
5.1 結論 .....	53
5.2 建議 .....	54
<b>參考文獻 .....</b>	<b>55</b>



## 表目錄

表 2-1 氯化鈣與氫氧化鈣作為混凝藥劑的操作特性評析 .....	11
表 3-1 案例廠主要廢水來源及特性 .....	13
表 4-1 實驗水樣特性表 .....	29
表 4-2 氯化鈣與氫氧化鈣對於單一染料廢水 COD 與色度去除效能之比較 .....	30
表 4-3 不同硫酸亞鐵劑量下對單一染料廢水之 COD 與色度去除效能 .....	34
表 4-4 不同氯化鈣劑量下對單一染料廢水的 COD 與色度去除效能 .....	39
表 4-5 不同加藥順序下對單一染料廢水之 COD 與色度去除效能 .....	42
表 4-6 不同加藥組合下綜合廢水之 COD 與色度去除效能 .....	45
表 4-7 不同加藥組合下綜合廢水之污泥產出量與去除 COD .....	47
表 4-8 實廠添加氯化鈣與氫氧化鈣各項數據統計平均值 .....	50
表 4-9 氯化鈣與氫氧化鈣操作成本評估表 .....	51



## 圖目錄

圖 2-1 七種常見的染料分子結構 .....	6
圖 2-2 染料製造流程示意圖 .....	7
圖 3-1 案例廠廢水處理流程圖 .....	12
圖 3-2 案例廠傳統化學混凝處理流程圖 .....	14
圖 3-3 研究架構 .....	16
圖 3-4 氯化鈣可行性分析實驗流程圖 .....	21
圖 3-5 硫酸亞鐵與氯化鈣最適加藥量實驗流程圖 .....	23
圖 3-6 氯化鈣加藥順序實驗流程圖 .....	25
圖 3-7 綜合廢水實驗流程圖 .....	27
圖 4-1 氯化鈣與氫氧化鈣對不同染料廢水去除 COD 效能比較 .....	32
圖 4-2 氯化鈣與氫氧化鈣對不同染料廢水去除色度效能比較 .....	32
圖 4-3 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(F)COD 與色度去除效能之影響 .....	35
圖 4-4 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(R)COD 與色度去除效能之影響 .....	35
圖 4-5 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(P)COD 與色度去除效能之影響 .....	36
圖 4-6 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(B)COD 與色度去除效能之影響 .....	36
圖 4-7 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(F)的 COD 與色度去除效能之影響 .....	40
圖 4-8 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(R)的 COD 與色度去除效能之影響 .....	40
圖 4-9 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(P)的 COD 與色度去除效能之影響 .....	41
圖 4-10 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(B)的 COD 與色度去除效能之影響 .....	41
圖 4-11 不同加藥順序對 COD 去除效率之影響 .....	43
圖 4-12 不同加藥順序對色度去除效率之影響 .....	43
圖 4-13 綜合廢水以不同加藥組合對於 COD 去除效能之比較 .....	48
圖 4-14 綜合廢水以不同加藥組合對於色度去除效能之比較 .....	48
圖 4-15 綜合廢水以不同加藥組合對於污泥產出量之比較 .....	49
圖 4-16 綜合廢水以不同加藥組合每去除 1 克 COD 的污泥貢獻度 .....	49

# 第一章 前言

## 1.1 研究背景與緣起

近年來，隨著各種產業迅速的發展，許多結構複雜的有機化合物被合成和應用於各領域。其中又以染料工業最為特別，隨著技術的進步，所能生產的染料結構越來越複雜且用水量也越來越大。而在一般染料製程中，一噸染料產量約產生 20~40 噸的廢水，其主要來自於製程及清洗過程，使得染料廢水的組成相當複雜，並具有龐大的化學結構及分子量，是屬於高 COD、高色度、高氯鹽及生物難分解性之有機性廢水。而這些廢水排入水體中，會造成水體中非天然的顏色，並對水生動、植物具毒害性，甚至對整個水體生態系統造成嚴重的影響。除此之外，許多的染料在自然分解過程中，也可能產生有毒或致癌的中間產物(例如：染料如果含有 Nitrobenzene、Azoheterozole、p-Diaminobenzenz、Stilbene、Aminonaphthol、Benzidine 和 Quaternary Amines 等基礎結構者)，若不進一步處理，對人體健康將形成嚴重影響。

傳統處理染料廢水之方法主要有混凝處理和生物處理方法。混凝處理雖具相當效果，但大量污泥伴隨而生，造成必須再處理污泥之困擾；且殘留染料仍為未被降解之型態，因此對水體生態系和人體健康仍具危害性。而生物處理對於 BOD/COD 比值甚低之難分解廢水而言，其處理效果有限，且染料，染整業多為批式生產程序，廢水成分和水量變化很大，生物反應槽內之微生物生長情形普遍不佳，因此以生物處理法不易操作。一般而言，染料廢水以化學混凝方式處理時，會添加大量的混凝劑與助凝劑，而其中氫氧化鈣具有提供鹼度與發揮沉澱絆除的效果，是一般常用的藥劑。但在實廠運用時會因為配製過程的粉塵作業對人體健康造成影響，且容易造成管路與泵浦堵塞，增加維修保養的成本。因此本研究計畫以氯化鈣取代氫氧化鈣作為染料廢水中的化學混凝藥劑進行可行性評估。

## 1.2 研究目的

本研究針對某案例染料廠進行背景研究，發現其廢水中最主要的問題，就是廢水中含有很多高 COD 和色度的染料及中間體。這些有機分子結構相當的複雜並具有毒性，無法以生物有效的處理，同時，廢水之水質水量因製程不固定而不穩定，亦影響生物處理單元之效率。因此該案例廠主要仰賴化學混凝來去除色度與 COD 以達到放流水標準，但如此一來所產生的藥劑費用與污泥處理費用佔總處理成本太高(佔 65%)，其中又以流程中的傳統化學混凝階段更為嚴重(佔總處理成本 25%)，須改進操作條件。因此，本研究計畫先篩選具有代表性之染料廢水，以瓶杯實驗(jar test)進行氯化鈣最適化操作條件，並於實廠進行測試。期望經由本研究執行後成功將氯化鈣取代氫氧化鈣添加於混凝系統中。





## 第二章 文獻回顧

### 2.1 染料概論

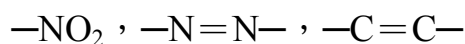
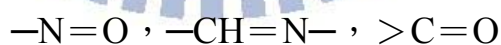
#### 2.1.1 合成染料起源

染料是有顏色的物質。但有顏色的物質並不一定是染料。而作為染料，必須能夠使一定顏色附著在纖維上。且不易脫落、變色。

而考古資料顯示，染色技術於印度和中東已有超過五千年歷史。當時的染料從動植物或礦物質而來，甚少經過處理。大多數染料來自植物界（如植物的根、莓類、樹皮、葉子和木料等），但此類染料甚少被廣泛用於商業上。直到 1856 年 W.H.Perkin 在實驗室作奎寧實驗時，無意中將苯胺以重鉻酸鉀氧化，合成紅紫色的染料 Mauve(苯胺紫)。世界第一種有機染料因此而誕生，並被人類廣泛發展應用至今，成為生活中不可或缺的化學品。

#### 2.1.2 染料發色團理論

發色團理論的概念，最早是由 1876 年德國的 O. N. Whitt 所提倡，最後廣被應用，且歷時已久。他從多種合成染料之顏色與結構所得之經驗解說，認為染料有顏色之原因是有不飽和之特定原子團存在，稱之為發色團，而分子中含有此類發色團之芳香族化合物稱為色原體(Chromogene)。例如：



但單只有發色團也許無法在可見光線部位吸收，或者對纖維之染著性顯得不夠充分，因此為了彌補此種缺點，須有第二個基團以為輔助。此種機團稱為助色團(Aux-ochrome)。





### 2.1.3 染料之分類

依據定義而言，染料屬於色素的一種，色素包含染料及顏料，兩者之區別為：染料可溶於水，為纖維吸收而不容易褪色之色素；顏料為不溶於水或無染色性之色素(葉，2002)。

染料用途廣泛，最大使用源為紡織業，約佔總量75%，為染色實務上之方便性，一般將染料做下列分類(郭，2003；謝，2007)：

- (1). 鹽基性染料(Basic dyes)：為陽離子性，染料溶於水中解離成染料陽離子，大部分屬於有毒性，用於奧龍、壓克力等之染色。
- (2). 酸性染料(Acid dyes)：此染料與染色過程中皆須在酸性染浴中進行，其溶解性佳，尤以含磺酸基(-SO<sub>3</sub>H)者為然，毒性小，用於尼龍，食品工業亦有應用。
- (3). 金屬性染料(Metallic dyes)：染料結構中含有鉻，故具有毒性，應用於羊毛與尼龍染色。
- (4). 酸性鉻黃染料(Acid chrome yellow dyes)：染料中含有磺酸基(-SO<sub>3</sub>H)或羧基(-COOH)，且含有重鉻酸根，故具有毒性，用於毛纖維染色，皮革工廠亦使用之，其顏色之堅牢度為毛系之冠。
- (5). 甕染料(Vat dyes)：可分為靛族(indigo)及蔥醌(anthraquinone)等，用於棉布與混紡，染色後不易褪色，廢水亦不易氧化，為棉類纖維用染料堅牢度最佳。
- (6). 硫化染料(Sulphur dyes)：含有硫、吸收率低、染色後不易褪色，硫化染料通常為結構複雜之化合物，易造成環境污染問題，但因價格低廉且應用面廣大，故仍多用於棉、人造棉及造紙方面。
- (7). 冰染料(Ice dyes)：由於染色過程需使用冰來降溫故有此稱，亦稱酚染料，為不溶性偶氮性染料，由兩種化合物相合成不溶性染料，用於棉布燈心，現今已少被使用。
- (8). 分散性染料(Dispersion dyes)：由於是疏水性強之非離子型染料，故不溶於水，通常分子量小，分為硝基、偶氮、蔥醌類，雖其不易被分解及氧化、吸收率低，

但仍多用，一般用於醋酸纖維。

(9). 直接染料(Direct dyes): 染料可於中性或弱鹼性之介質中直接對纖維進行染色無須藉助媒染劑，通常分子大小較其他染料大，因其易分解，故堅牢度較差，且具有毒性小、用途廣泛、價格低廉等特性。

(10). 反應性染料(Reactive dyes): 染料分子可與纖維反應，形成共價結合，可形成穩定之有色化合物，故牢度大，但吸收率小於30%，分為偶氮及蒽醌染料等，具有酸性反應者。

(11). 顏料(Pigments): 不溶性，用於棉布之印花、油漆等。

以下列出常見的染料分子結構：

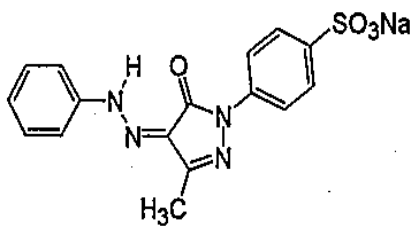


圖 a : C.I. Acid Yellow 11

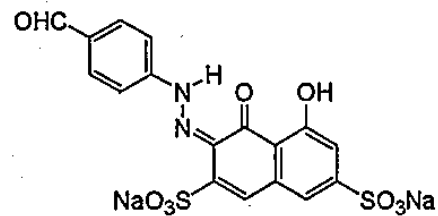


圖 b : C.I. Acid Red 19

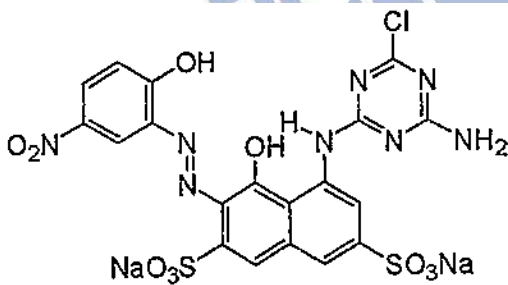


圖 c : C.I. Reactive Black 8

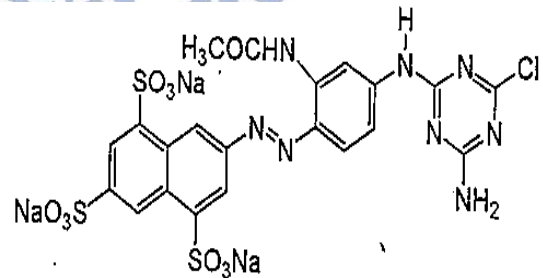


圖 d : C.I. Reactive Orange 12

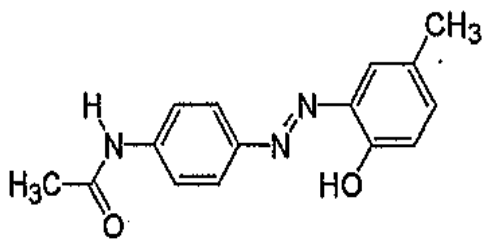


圖 e : C.I. Disperse Yellow 3

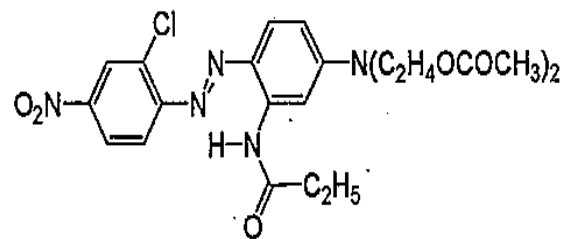


圖 f : C.I. Disperse Red 167

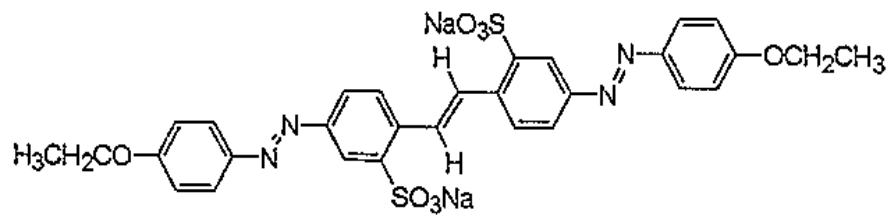
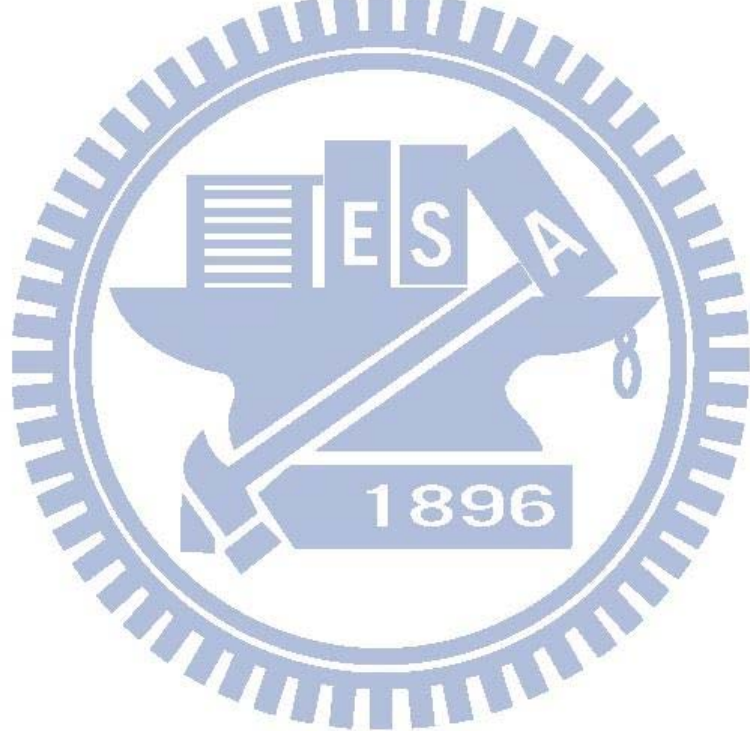


圖 i : C.I. Direct Yellow 12

圖 2-1 七種常見的染料分子結構



## 2.1.4 染料之合成

染料之種類繁多，結構複雜，它們是由基本有機原料如苯(Benzene)、甲苯(Toluene)、萘(Naphthalene)、蒽(Anthracene)等芳香族化合物(煤焦油製品)，經一系列化學反應(如鹵化、磺酸化、硝化及其他反應)先製成各種染料中間體，再進而將此中間體依適當的組合及反應(重氮化、偶合、縮和、硫化及其他反應)而製成各種染料，最後再配合物理方法，如結晶、過濾、濃縮、乾燥等而製成成品。

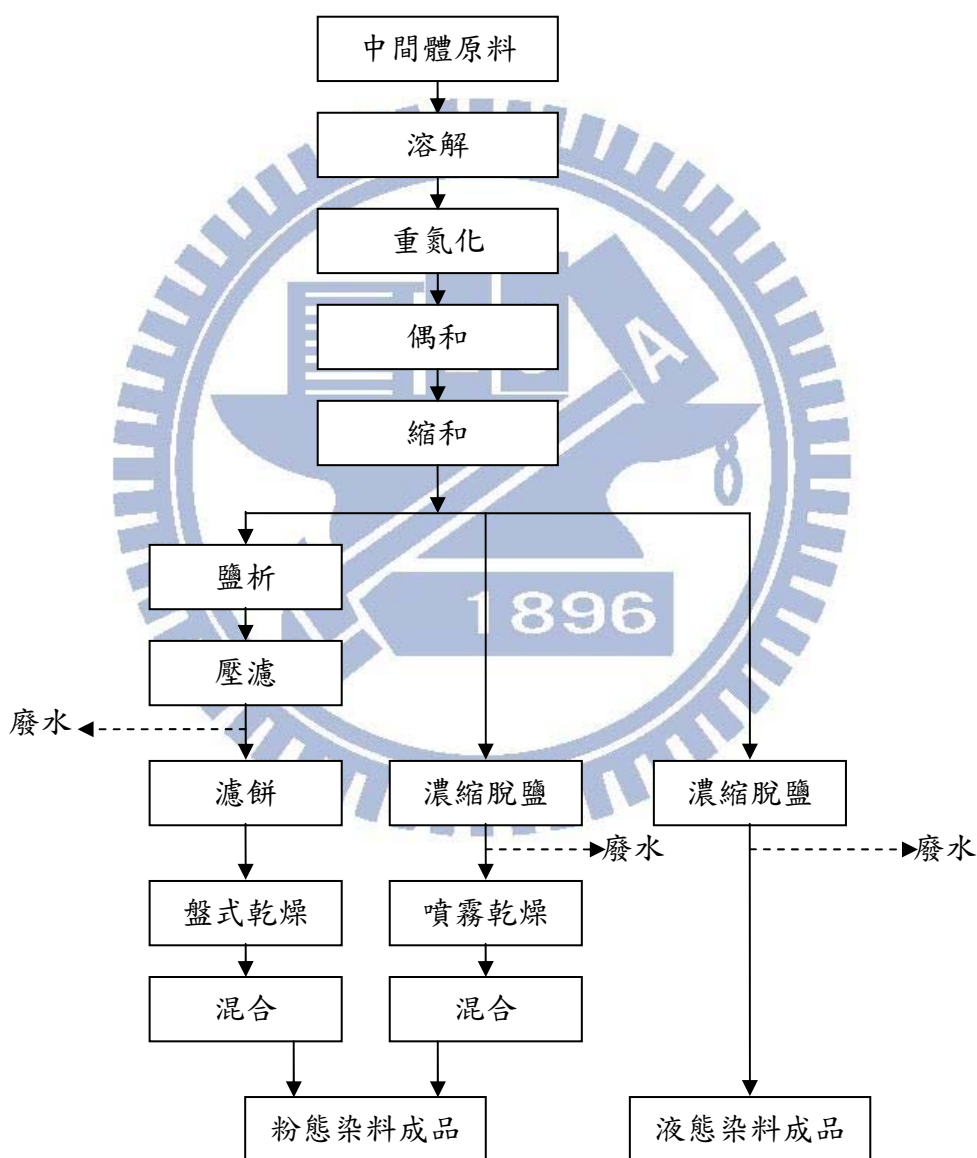


圖 2-2 染料製造流程示意圖

## 2.2 染料廢水特性與處理技術

### 2.2.1 染料廢水特性

染料製造之廢水主要是來自製程中及清洗過程。製程廢水包括鹽析或酸析、壓濾廢水、及濃縮製程中所產出大量之滲透液；而清洗廢水則包括清潔反應設備、地板及員工洗滌廢水。根據染料所用之原料及製程，一般來說，染料廢水水質具有下列幾項特性<sup>(游, 1997)</sup>：

- 1.原料及產品種類繁多，且常隨市場需求變動而改變，故廢水之性質不穩定。
- 2.廢水中所殘留之部分原料，染料中間體及染料異構體等，多為微生物不易分解之化合物，且部分為有毒物質。
- 3.廢水中含高鹽分，以致妨害其生物處理速度。
- 4.廢水具有高濃度的化學需氧量(COD)及色度。
- 5.產品為批次式生產，水質變化很大。
- 6.廢水溫度高。
- 7.pH 兩極化。

### 2.2.2 染料廢水處理技術

國內過去對工業廢水的研究，較偏重於染整廢水，關於染料廢水處理的文獻不多；由於染料廢水之難處理特性，近年來開始有一些學者嘗試用各種方法改善其處理效率。

胡式(1991)探討偶氮染料之生物分解性，以 *P.luteola* 在 0.01% RED G 染料培養液中培養，經 48 小時振盪培養與靜置 11 天後，可有 80% 之去除色率，再由 TLC(Thin layer chromatography) 之分析結果顯示 RED G 分子並未被分解，其色度降低僅是因為呈色基 -N=N- 由雙鍵被還原成 -N-N- 之緣故<sup>(胡, 1991)</sup>。

張氏與陳氏(1992)利用再生性活性碳管、活性污泥法、混凝沉澱法、活性碳接觸法、活性碳接觸混凝法等比較處理含反應性染料廢水之效果，結果顯示，以活性污泥法處理人工合成之 RP2B 反應性染料廢水效果不佳，無法有效地使廢水脫色，



因此建議以其他方法進一步處理。以活性碳吸附塔去除反應性染料時，色度與 COD 去除效率皆很高，但其缺點為活性碳吸附塔容易被堵塞，活性碳的再生亦很困難；以 PAC 為混凝劑之混凝接觸法脫色效果因染料之不同而異，60-80 mg/L 之 PAC 對藍色系(BGFP 及 BP3R)及黃色系列 (YP-5G)之染料廢水，除色率可達 90 %以上，但紅色系列染料及實際廢水則效果較差。而活性碳接觸法加化學混凝法共同處理在活性碳加藥量 500 mg/L 及 PAC 劑量 20 mg/L 時，比單獨以活性碳處理或混凝處理脫色效果都來得好。

康氏等(1992)以 Fenton 法處理染整廢水中之有機物。以 PVA 染料及反應性染料 (R94H)所配成之人工染整廢水，模擬實驗廢水之 COD 和顏色，以杯瓶實驗方式探討過氧化氫加藥量、pH、亞鐵濃度和反應時間等參數對於 Fenton 法效果的影響。結果顯示，若以 COD 和脫色率為指標，此反應最適 pH 範圍為 pH 2~4；COD 去除動力為一階反應，且動力常數 K 值和亞鐵濃度成 1.2 次方之關係。H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 加藥量與去除率成正比 (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 加藥量範圍 100-250 mg/L)，約 1~2 小時即可使原有 COD 1000 mg/L 以下之人工廢水及 COD 去除率皆大於 80%。文中並指出，以 Fenton 法處理 COD 達 750 mg/L 之染整實際廢水，至放流水 COD 小於 200 mg/L 之費用約每噸藥品費 18-20 元，比生物與化學混凝併用之傳統處理法費用 10-15 元為高<sup>(康, 1992)</sup>。

高氏等人也以 Fenton 法處理中興紡織楊梅印染廠廢水；杯瓶實驗結果顯示，pH 在 3~4 間有較佳的處理效果，而 FeSO<sub>4</sub> 加藥量在 400~600 mg/L，且 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 在 200 mg/L 時，對各種水樣之 COD 去除率可高達 95 %<sup>(高, 1990)</sup>。

從上述文獻資料，可大致了解，染料廢水是一種難處理的廢水，且處理的效果隨染料廢水和處理方法不同而有所差異，其染料廢水的方法不外乎有活性污泥法，高級氧化處理(臭氧)、活性碳吸附、化學混凝、Fenton 等。

### 2.2.3 化學混凝反應機制

化學混凝包括混凝(Coagulation)及膠凝(Flocculation)，混凝乃是添加混凝劑於廢水中，利用攪拌作用使混凝劑均勻地分散於廢水中，增加其與膠體的碰撞機會，以破壞膠體顆粒穩定之作用。膠凝則是指使顆粒凝集變大的操作過程，一般採用 polymer 為膠凝劑。為使膠體顆粒凝集，必須經過以下兩個步驟：

(1)將顆粒的電雙層施以電性中和，破壞其表面電荷，解除其穩定性。

(2)解除穩定性後，顆粒遷移，以去穩定化的顆粒互相接觸，碰撞後造成吸附或架橋而使膠體凝集而沉澱。

而文獻指出化學混凝一般可歸納為四種機制，分別敘述如下

(Randtks,1988)：

(1)壓縮電雙層(Electric Double Layer Compression)：水體中顆粒表面帶電形成電雙層，膠體外圍為正電荷離子被吸附在負電荷膠體顆粒表面，因此為內固定層(Inner Fixed Layer)，介達電位為固體與液體介面與溶液間之電位，如增加溶液中離子濃度，以減少電雙層中擴散層部分，可以降低界達電位。

(2)吸附與電性中和作用(Adsorption and Charge Neutralization)：為破壞膠體粒子穩定性，添加混凝劑量，在適當的加藥量，會幫助膠體凝聚。當加入與膠體相反之電荷時，因離子吸附膠體表面所帶的電性，會使膠體粒子表面位能降低而改變帶電性，不過當加藥過量，會造成膠羽顆粒再穩定現象<sup>(Riddick, 1961)</sup>。

(3)吸附及架橋作用(Adsorption and Bridging)：高分子化合物包含長鏈有機之結構，並接許多不同型態溶解基離子，主要於可吸附膠體之活性空位，進行一連串吸附及架橋作用，形成較大膠羽達到混凝目的。

(4)沉澱掃曳作用(Precipitation and Enmeshment ,or SweepFloc)：加入高劑量鐵鹽或鋁鹽藥劑，造成溶液中離子濃度乘積，大於金屬氧化物之溶解度積常數( $K_{sp}$ )，並以部分非金屬氧化物粒子為核心，形成大量沉澱物下降，在沉澱物下降的同時，造成掃曳、絆除與其他膠羽共沉降現象。

## 2.2.4 氯化鈣與氫氧化鈣之比較

(1)氫氧化鈣：其缺點為配置過程的粉塵作業對人體安全衛生不宜，且流體傳送管送泵浦阻塞，維修保養吃力。而鈣離子反應效率差、需過量加藥，如此會生成多餘未反應污泥。反應槽、脫水機因上述原因需龐大體積而使得造價高、佔地大。唯一優點為引用乙炔產生之廢料，可資源再利用。

(2)氯化鈣：其缺點為須另外加鹼調整 pH 值。另外會造成廢水中氯離子較高。優點部分第一為不必粉塵調配作業，不會阻塞管線及泵浦且不需曝氣或攪拌；第二、反應效率高不需要過量加藥，可縮短反應時間，採取連續式操作，可以處理水量大；第三、設備精緻不龐雜，投資低，佔地小；最後鈣鹽用量少，費用低。

表 2-1 氯化鈣與氫氧化鈣作為混凝藥劑的操作特性評析<sup>(劉, 1995)</sup>

項目	35~40 %溶液	粉 塵 作 業	曝 氣 攪 拌	阻 塞 管 線 泵 浦	另 需 鹼 劑	溶 解 度	有 效 鈣	過 量 加 藥	污 泥 量
氯化鈣	2 元/kg	不 用	不 用	不 會	要	452 倍	301 倍	可 改 善	少
氫氧 化鈣	5 元/kg	要	要	會	不用	1 倍	1 倍	難 改 善	多

## 第三章 實驗設備與方法

### 3.1 染料廢水處理廠實例研究

以某案例染料公司的廢水處理廠為例，現有的廢水主要處理流程如下：

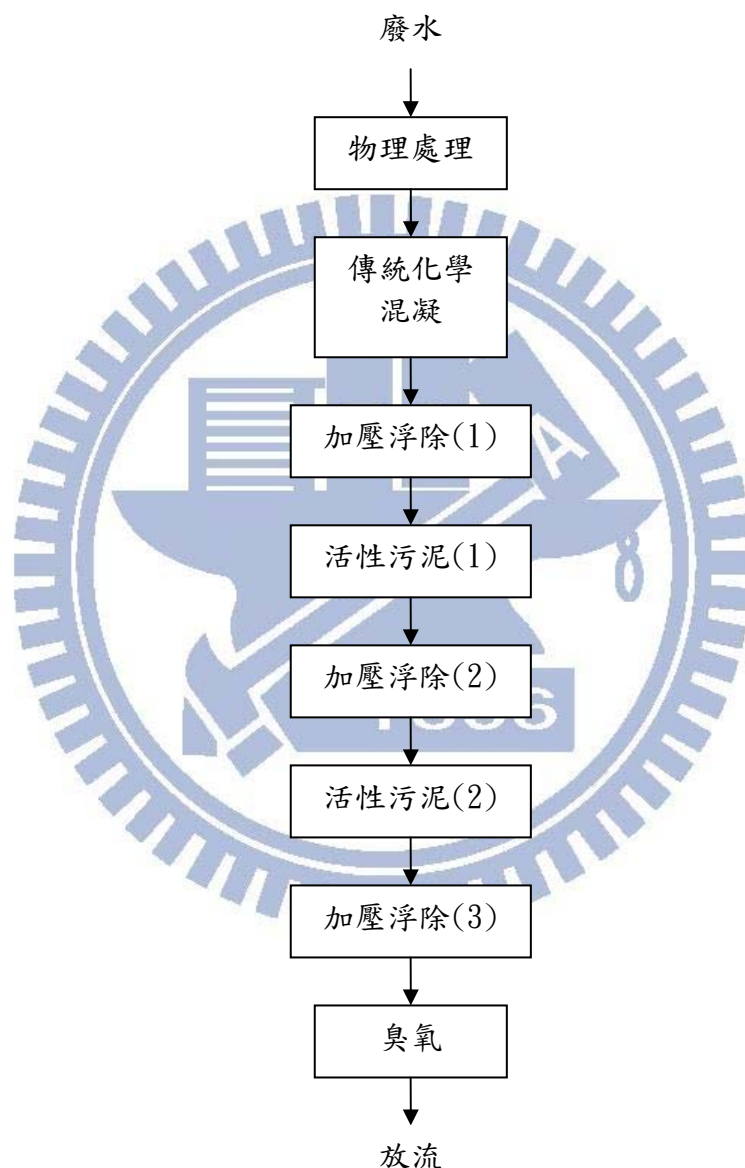


圖 3-1 案例廠廢水處理流程圖

案例廠中的廢水，首先在物理處理方面先進入 pH 預調池，將廢水的 pH 調整到 6.0~9.0，之後藉由沉砂池沉澱部分物質，而上澄液則溢流到原水池，再藉由曝氣調



勻使廢水的水質穩定後，進入傳統化學混凝單元，在混凝階段以硫酸亞鐵為混凝劑，並以氫氧化鈉將 pH 控制在 4.5~5.0 的條件，之後進入 pH 調整池，使用 10% 濃度的氫氧化鈣將 pH 調整到 8.0~8.5，而膠凝池則使用高分子為凝集劑進行膠凝後，最終進入化學沉澱池進行固液分離，而上澄液後續再經由 3 個階段的加壓浮除與 2 個階段生物處理後，最後經由臭氧脫色放流。

而本案例廠主要的廢水來源及特性如表 3-1 所示，主要以高 COD，高氯鹽，高色度的染料製程廢水為主要污染來源。

表 3-1 案例廠主要廢水來源及特性

來源 特性	電子 化學製程	醫藥 中間體製程	染料製程	染料製程 設備清洗	生活污水
水量 (噸/日)	20~30	30~60	200~800	20~300	20~80
COD (mg/L)	500~ 2,000	500~ 5,000	2,000~ 50,000	1,000~ 10,000	<1,000
ADMI	<1000	<800	>100,000	>20,000	<500
氯鹽 (mg/L)	<1,000	<3,000	30,00~ 10,000	1,000 ~ 5,000	<1,000

註：數據來源為該染料案例廠所提供

本案例廠中傳統化學混凝單元雖可去除大部分的 COD，但在過程中需使用大量的氫氧化鈣，容易產生大量的污泥，而使管路、桶槽、及輸送設備容易堵塞，且配製過程中粉塵容易分散，有影響空氣品質及人員健康等缺點。因此本研究將以探討如何在維持原本的 COD 去除率下，進行以氯化鈣取代氫氧化鈣的可行性評估。圖 3-2 為案例廠傳統化學混凝單元詳細的廢水處理流程。



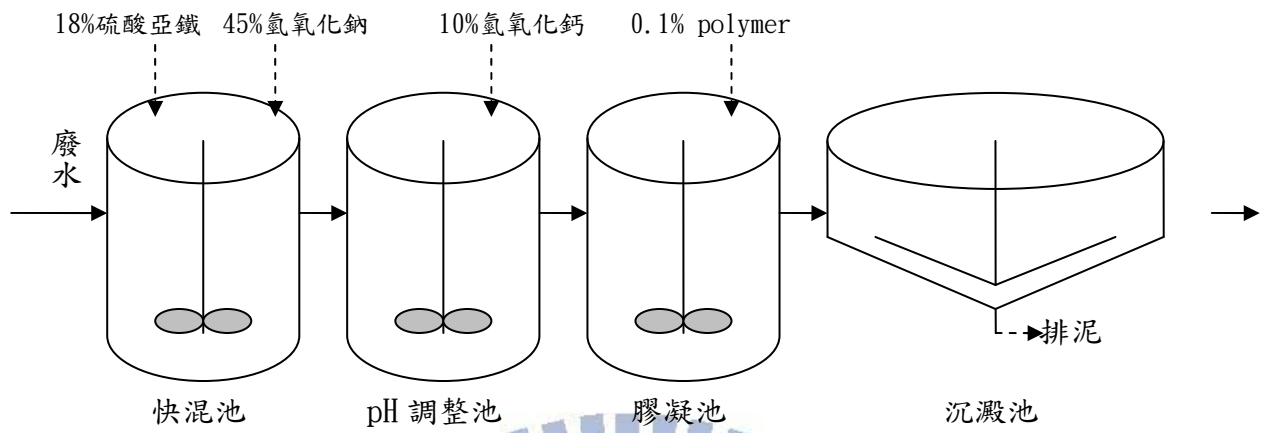


圖 3-2 案例廠傳統化學混凝處理流程圖



## 3.2 研究架構

本研究探討的對象為某工業區的染料製造廠其生產過程中產生的廢水。首先依據年產量、COD，作為篩選條件。篩選具有代表性單一染料廢水，分別添加氫氧化鈣及氯化鈣進行瓶杯試驗、並比較兩者之COD及色度去除效率，進行氯化鈣的可行性分析。之後再進行加藥量、加藥順序之瓶杯試驗，以求得氯化鈣最適化操作條件。並再以現場綜和廢水為試驗對象，運用單一染料廢水試驗所求得氯化鈣最適化操作條件進行瓶杯實驗，以驗證最適化條件的效果及評估效益。而最後則是將最適化條件實際運用於現場。研究架構如圖3-3所示，主要分為單一染料廢水瓶杯試驗、現場綜合廢水瓶杯實驗與現場加藥測試三部分。

單一染料廢水瓶杯試驗水樣為生產單位產出的廢水，瓶杯試驗使用之藥劑同樣與實場相同。水樣篩選後以one way桶裝方式儲存，以確保實驗水樣量能夠充足且避免因取樣不同而有變異，實驗室每次即可進行水質分析及瓶杯試驗，並紀錄結果。求得最適化條件以作為綜和廢水的試驗條件。

綜合廢水試驗則是每週固定兩次於廢水處理場取原水，並於實驗室進行以氯化鈣最適化操作條件瓶杯試驗，同時也進行添加氫氧化鈣的對照組試驗，藉以驗證最適化操作條件及預測實場添加氯化鈣可能產生的結果，並比較氯化鈣與氫氧化鈣兩者所產出的污泥與所添加的藥劑量以供未來操作費用之評估。接著於現場添加氯化鈣以長時間運轉操作下，觀察整體操作費用與COD及色度去除效率之表現，以實現氯化鈣能夠在實場運用並取代氫氧化鈣之目標。

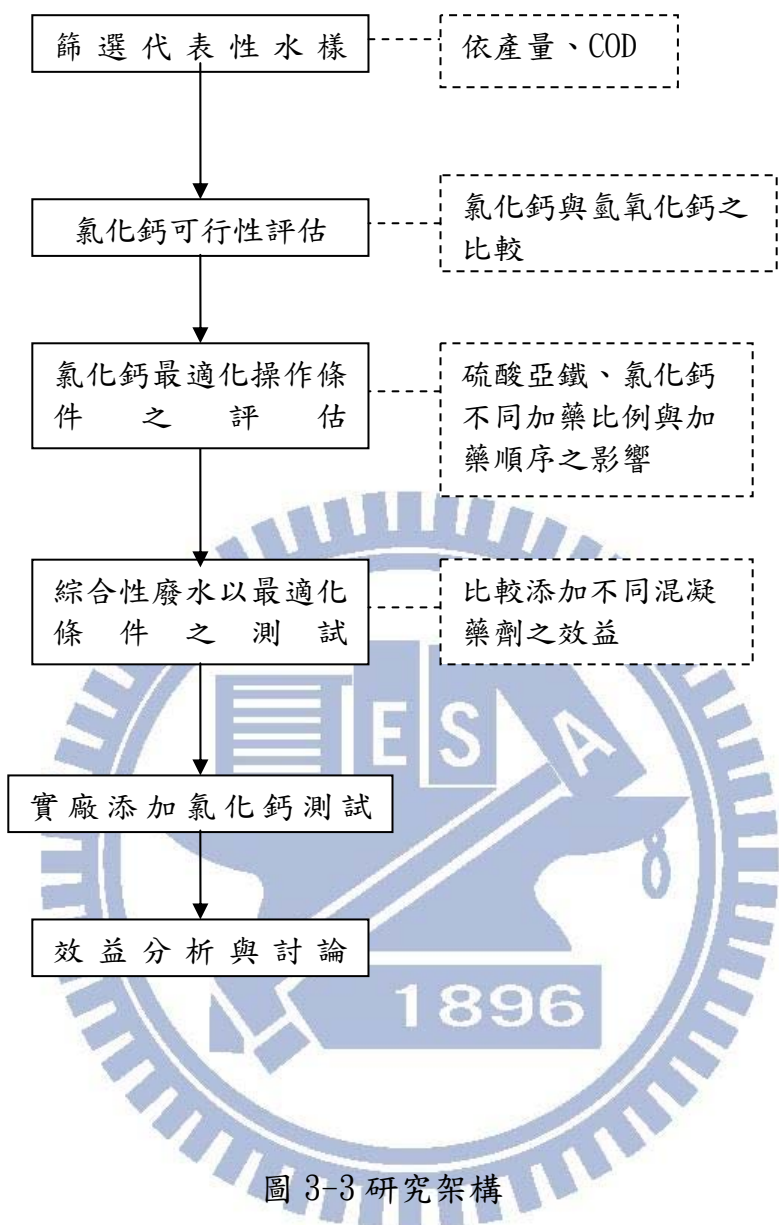


圖 3-3 研究架構

### 3.3 實驗設備與藥品

#### 3.3.1 實驗設備

1. 杯瓶實驗機: 使用 PHIPPS BIRP 生產製造，型號為 PB-7006，其最大轉速為 300 rpm，可以同時操作 6 組水樣，每組混凝槽容量為 2000 mL。
2. pH 計：本研究使用之 pH 計廠牌為 EUTECH INSTRUMENTS，型號為 pH 510。其 pH 測量範圍為 -2.00~16.00。pH 計的原理為電極測定法。pH 計於每次使用前，應先以 pH 4 與 pH 7 的緩衝標準液作校正。
3. 分光光度計：廠牌 Thermo，型號 20 GENESYS，進行水中真色色度分析用途。
4. 加熱攪拌器：使用 C-MAG 公司所製造的 Stirrer/Hot plate 型號 HS10。
5. 真空抽氣 pump：使用德記公司的抽氣幫浦，型號 D9EL-AS3。
6. COD 加熱爐：採用海山儀器公司的 COD reactor，以 150°C 加熱兩小時後，再以重鉻酸鉀迴流法分析 COD 值。



### 3.3.2 實驗藥品

1. 氫氧化鈣( $\text{CaOH}_2$ )粉態：純度 99%，混凝與提昇 pH 用。
2. 氯化鈣( $\text{CaCl}_2$ )溶液：純度 37%，本次實驗測試藥品。
3. 硫酸亞鐵( $\text{FeSO}_4$ )溶液：荊久公司，純度 23%，混凝劑。
4. 陰離子型高分子凝集劑：台灣開廣股份有限公司，配製成 0.1g/L 使用。
5. 鹽酸：純度 32%，調整實驗所需 pH 值。
6. 氫氧化鈉：純度 45%，調整實驗所需 pH 值。
7. 重鉻酸鉀：SIGMA-ALDRICH 試藥級。
8. 非羅林指示劑：FLUKA 試藥級。
9. 硫酸銀：FLUKA 試藥級。
10. 硫酸汞：SIGMA-ALDRICH 試藥級，校正測 COD 值時之氯鹽干擾。
11. 硫酸亞鐵銨：J.T.Baker 試藥級。
12. 硫酸：SIGMA-ALDRICH 試藥級。
13. 硝酸汞：J.T.Baker 試藥級。





## 3.4 檢測項目及方法

### 3.4.1 pH 之測定

依環檢所公告之方法 NIEA W424.52A-電極法測之。

### 3.4.2 色度檢測方法

依環檢所公告 (NIEA W223.52B)分光光度計法測之。真色是指水樣去除濁度後之顏色。水樣利用分光光度計在 590 nm、540 nm 及 438 nm 三個波長測量透光率，由透光率計算三色激值 (Tristimulus value) 及孟氏轉換值 (Munsell values)，最後利用亞當-尼克森色值公式 (Adams-Nickerson chromatic value formula) 算出中間值 (DE, Delta E 或稱 Delta Error)。DE 值與標準品檢量線比對可求得樣品之真色色度值 (ADMI 值，美國染料製造協會，American Dye Manufacturers Institute)。

### 3.4.3 化學需氧量檢測方法與氯鹽干擾排除

水樣中氯鹽會造成 COD 檢測值干擾，但由於環檢所公告之含高濃度鹵離子水中化學需氧量檢測方法-重鉻酸鉀迴流法(IEA W516.55A)，檢測時間需花費 8 小時，故考慮實驗樣品數量龐大，所以依環檢所公告之水中化學需氧量檢測方法-重鉻酸鉀迴流法測之(NIEA W515.54A)分析。並在每次水樣分析前檢測氯鹽濃度，並依比例添加硫酸汞，以排除氯離子之干擾(每 2,000 mg/L 添加 0.6 g 之硫酸汞)。另外以蒸餾水及 500 mg/L 之 KHP 作為空白實驗及標準液。以作為準確性指標。

### 3.4.4 氯鹽檢測方法

依環檢所公告 NIEA W406.52C-硝酸汞滴定法檢測之。水樣調整 pH 值至 2.3 ~ 2.8 範圍內，以硝酸汞溶液滴定，滴定過程中，氯離子與硝酸汞生成不易解離之氯化汞，當到達滴定終點時，多餘之汞離子即與指示劑二苯卡巴脲 (Diphenylcarbazone) 形成藍紫色複合物。水樣中氯離子濃度可由滴加之硝酸汞標準溶液體積及濃度求得。並以蒸餾水及氯化鈉溶液作為空白實驗及標準液。以作為準確性指標。

### 3.5 實驗步驟

本實驗主要是探討染料廢水處理流程，在化學混凝單元中以氯化鈣取代氫氧化鈣的可能性評估，因此首先篩選具有代表性的單一染料製程廢水進行瓶杯實驗取得最適化條件後，再定期取現場綜合廢水以最適化條件進行測試，驗證其效果。最後進行實廠加藥並進行效益評估。以下為本研究之實驗步驟主要分為四個階段：

#### 第一階段：氯化鈣可行性分析

1. 以產量、COD，篩選出具有代表性的單一染料製程廢水，並進行水質分析(pH、COD、色度、氯鹽)。
2. 分別取 2000 mL 之水樣置於 2 個燒杯內。
3. 首先第一杯水樣依現場加藥條件，加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵，pH 控制在 4.5~5.0，快混 200 rpm，時間 1 min。
4. 再以 0.1 mg/L 氫氧化鈣將水樣 pH 調整到 8.0~8.5，快混 200 rpm，時間 1 min。
5. 添加濃度 10 g/L 之 polymer，慢混 60 rpm，時間 30 min。
6. 靜置 60 min 後取上澄液分析 COD、色度，氯鹽。
7. 第二杯水樣同步驟 3，加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵，pH 控制 4.5~5.0，快混 200 rpm，時間 1 min。
8. 再以 45% 氫氧化鈉將水樣 pH 調整到 8.0~8.5，並添加等同步驟 4 所加入氫氧化鈣的氯化鈣(以鈣離子濃度計算)，快混 200 rpm，時間 1 min。
9. 同步驟 5 與步驟 6 進行。
10. 步驟 1 所篩選出水樣皆依步驟 1~9 進行氯化鈣可行性分析與水質分析。

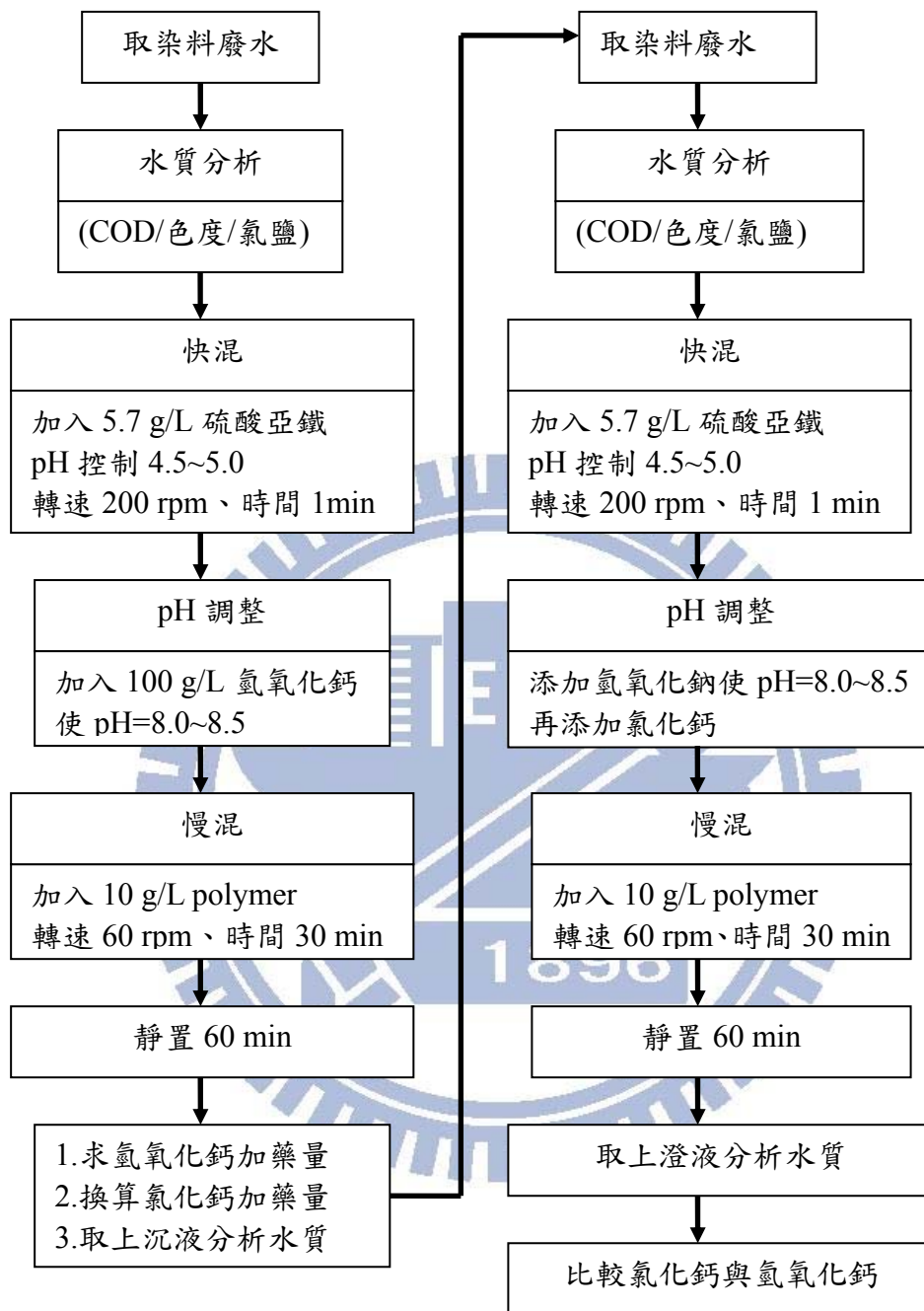


圖 3-4 氯化鈣可行性分析實驗流程圖

第二階段：不同加藥量 jar test(硫酸亞鐵與氯化鈣)

1. 分別取 2000 mL 之水樣置於 5 個燒杯內。
2. 先測試在加入 1.9 g/L、3.8 g/L、5.7 g/L、7.6 g/L、9.5 g/L 之硫酸亞鐵，使其混凝 pH=4.5~5.0 時所需氫氧化鈉添加量。
3. 再取 2000 mL 水樣於 5 個燒杯內，將步驟 2 所測試出氫氧化鈉添加量先加入於水樣，之後添加 1.9 g/L、3.8 g/L、5.7 g/L、7.6 g/L、9.5 g/L 之硫酸亞鐵，pH 控制在 4.5~5.0，快混 200 rpm，時間 1 min。
4. 以 45% 氫氧化鈉調整廢水 pH 到 8.0~8.5。並添加第一階段步驟 8 之氯化鈣量，快混 200 rpm，時間 1 min。
5. 添加 10 g/L polymer，慢混 60 rpm，時間 30 min。
6. 靜置 60 min 後取上澄液進行水質分析(COD、色度，氯鹽)。
7. 依步驟 1~6 求出各水樣最適當的硫酸亞鐵加藥量。
8. 分別取 2000 mL 之水樣置於 5 個燒杯內。
9. 添加步驟 7 所得之硫酸亞鐵加藥量，快混 200 rpm，時間 1 min。
10. 再以 45% 氫氧化鈉調整廢水 pH 到 8.0~8.5。並以第一階段步驟 8 之氯化鈣量為基數，分別加入不同倍數於水樣，快混 200 rpm，時間 1 min。
11. 依步驟 5~6 進行。
12. 依步驟 9~11 求出各水樣最適當的氯化鈣加藥量。



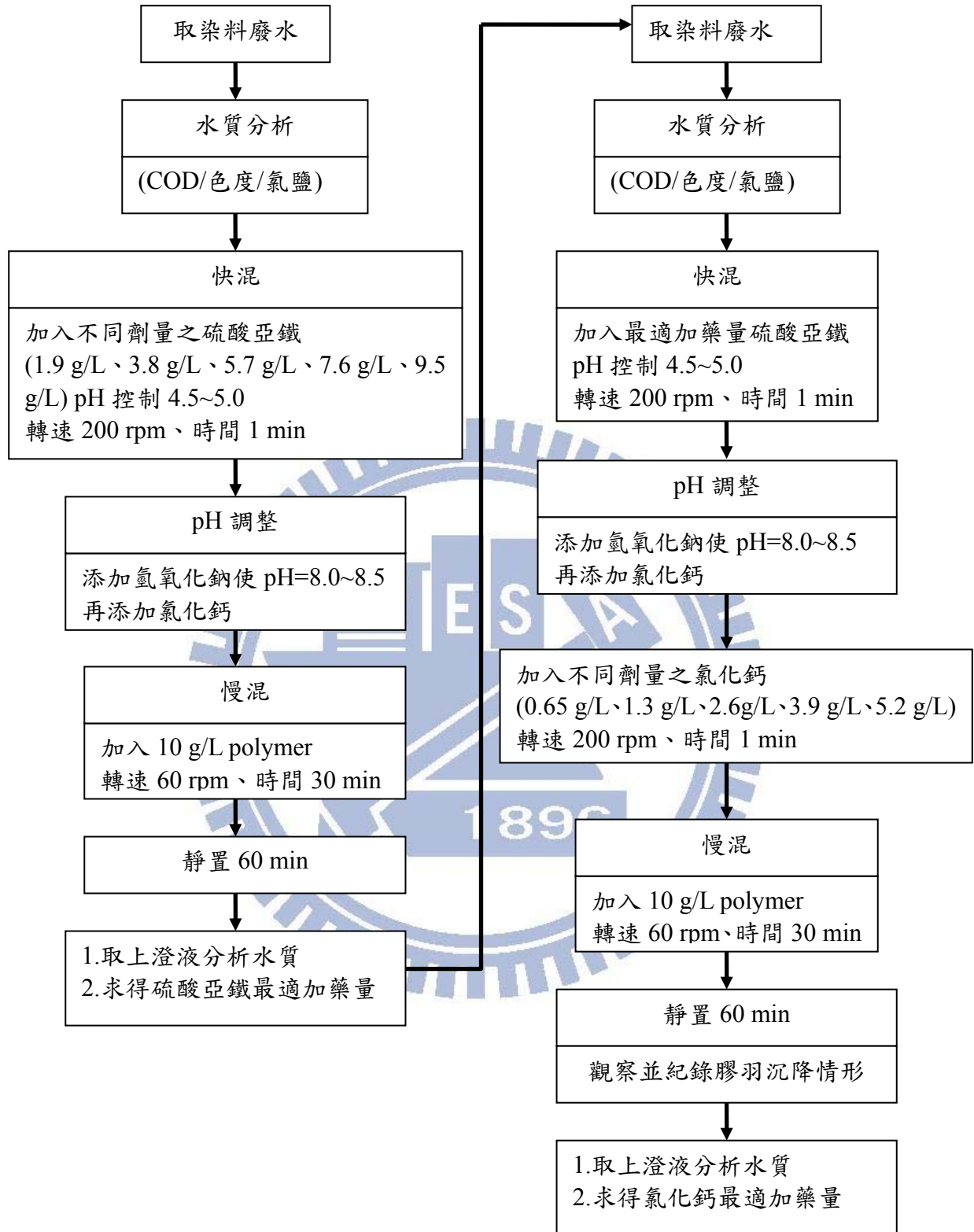


圖 3-5 硫酸亞鐵與氯化鈣最適加藥量實驗流程圖

第三階段：氯化鈣加藥順序之 jar test(先添加氯化鈣，先添加硫酸亞鐵)

- 1.分別取 2000 mL 之水樣置於 5 個燒杯內
- 2.依第二階段步驟 2 進行
- 3.先加入最適當之硫酸亞鐵加藥量，將 pH 控制在 4.5~5.0，快混 200 rpm，時間 1 min。
- 4.再加入最適當之氯化鈣加藥量，並以氫氧化鈉將 pH 控制在 8.0~8.5，快混 200 rpm，時間 1 min。
- 5.添加 10 g/L polymer，慢混 60rpm，時間 30min。
- 6.靜置 60 min 後取上澄液進行水質分析(COD、色度去除率，氯鹽)。
- 7.分別取 2000 mL 之水樣置於 5 個燒杯內。
- 8.將 pH 調整到 8.0~8.5，加入最適當之氯化鈣加藥量，再加入最適當之硫酸亞鐵加藥量，並將 pH 控制在 4.0~4.5，快混 200 rpm，時間 1 min。
- 9.以氫氧化鈉將 pH 調整到 8.0~8.5，快混 200 rpm，時間 1 min。
- 10.添加 10 g/L 之 polymer，慢混 60 rpm，時間 30 min。
- 11.靜置 60 min 後取上澄液進行水質分析(COD、色度去除率，氯鹽)。
- 12.比較步驟 6 與步驟 11 之數據，求得最適之氯化鈣加藥順序。

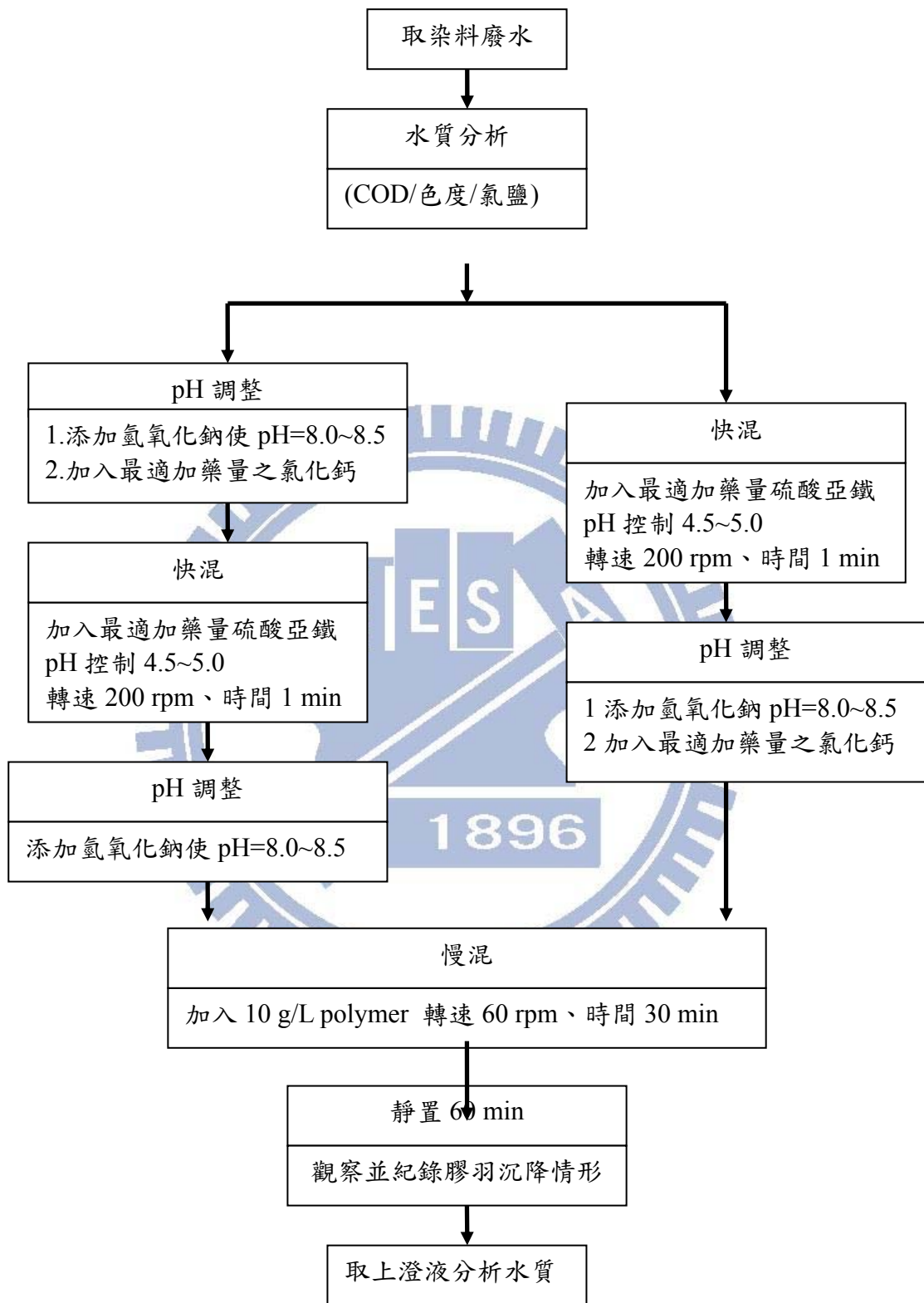


圖 3-6 氯化鈣加藥順序實驗流程圖

#### 第四階段：綜合廢水最適化 jar test

1. 每週 2 次取綜合廢水進行測試。
2. 每次各取 3 杯水樣，每杯水樣各取 2000 mL。
3. 第一杯水樣依第一階段~第三階段所求得氯化鈣最適化添加條件進行，第二杯水樣依現場添加氫氧化鈣條件進行(2 杯水樣的硫酸亞鐵劑量以最適化條件為主)。
4. 第三杯水樣只加入最適化劑量之硫酸亞鐵，並將 pH 控制在 4.0~4.5，快混 200 rpm，時間 1 min。
5. 再以氫氧化鈉將 pH 調整到 8.0~8.5，快混 200 rpm，時間 1 min。
6. 添加 10 g/L polymer，慢混 60 rpm，時間 30 min。
7. 靜置 60 min 後取上澄液進行水質分析(COD、色度去除率，氯鹽)。
8. 三杯水樣同樣進行水質分析，比較 COD，色度，氯鹽，膠羽沉降情形與污泥產出量後進行效益評估。
9. 依上述步驟 1~8 進行現場綜合廢水最適化 jar-test 後，評估是否需調整最適化操作條件，以供後續實廠進行測試。





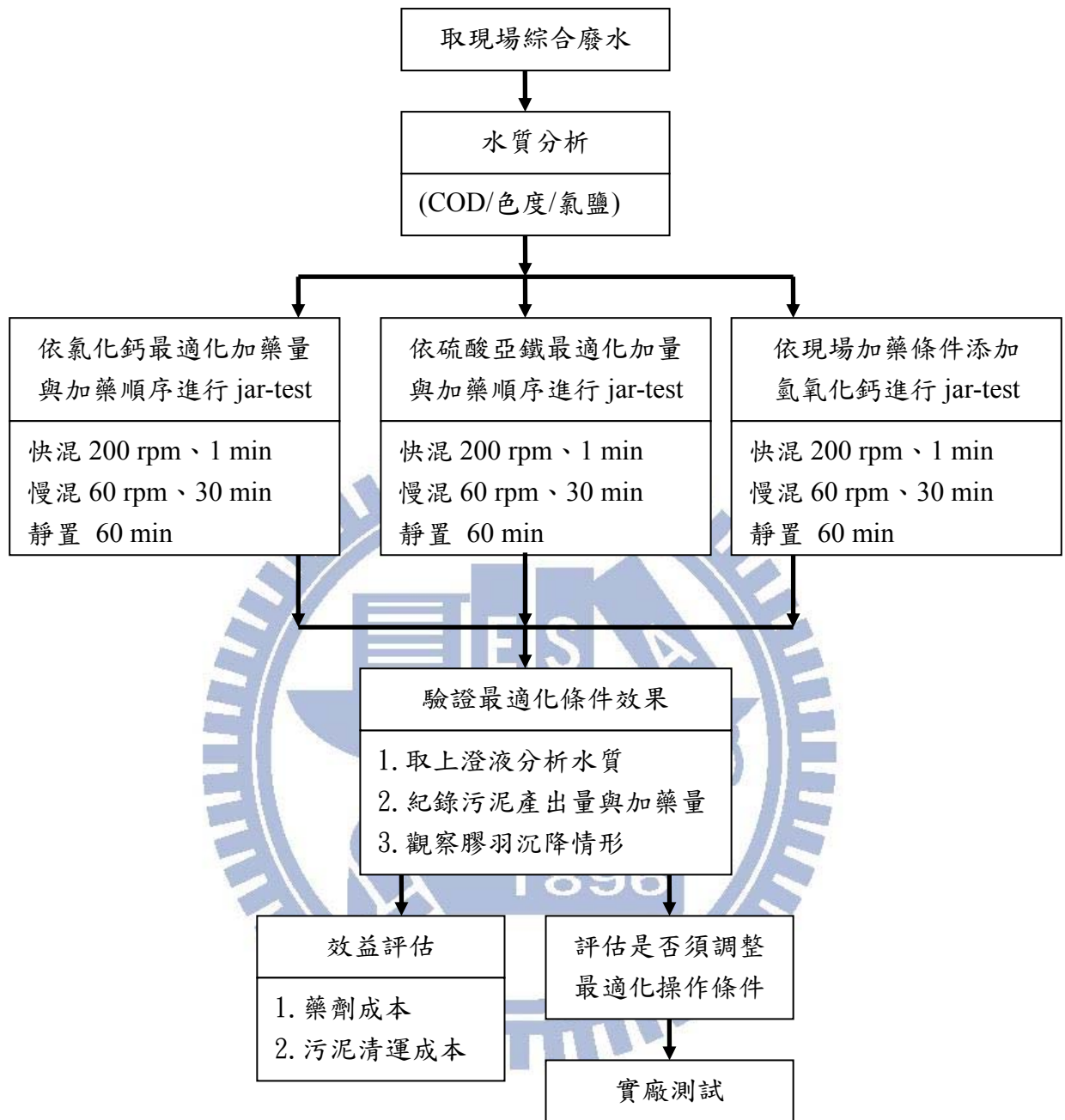


圖 3-7 綜合廢水實驗流程圖

## 第四章 結果與討論

### 4.1 實驗水樣水質特性

為進行實驗所需，故需對案例廠所產出的染料製程廢水進行篩選，因此依目前產線的安排、產量、磺酸根數量..等。篩選出具有代表性的廢水進行採樣與基本水質分析如下表 4-1 所示：

水樣編號 F、R、P、B 為單一染料製程廢水，篩選基準主要是依全年度產量排名，磺酸根數量選出，作為本次研究中第一階段到第三階段中實驗水樣。該水質特性為高色度、高 COD 之廢水。水樣 F 與 P 為年平均染料產量排名第 1 與第 2 的製程廢水，廢水中染料分子量大且結構中分別具有 5 個與 3 個磺酸根。水樣 R 為染料產量排名第 3 之染料廢水，其廢水特性為含有大量的醋酸。水樣 B 為染料產量排名第 4 之染料廢水，為該案例廠最早期之產品，廢水中主要成分為苯環類之原料。

而水樣編號 521~613 為每週兩次於廢水處理場採樣之綜合廢水，作為本研究第四階段中所需實驗水樣，水質特性主要以染料製程廢水為主，其中有不同比例之 F、R、P、B 廢水混和於其中。

表 4-1 實驗水樣特性表

採樣日期	水樣編號	磺酸根數量	產量排名	pH	COD (mg/L)	ADMI (units)	氯鹽 (mg/L)	污染比重
3/7	F	5	1	4.8	6,020	42,987	15,600	-
4/17	R	4	5	6.5	59,880	705,250	120,000	-
5/12	P	3	2	8.4	10,820	76,500	17,500	-
5/16	B	1	7	9.4	11,200	36,500	230,60	-
5/21	521	-	-	8.4	2,070	71,120	20,700	F=8%
5/23	523	-	-	10.5	2,870	63,790	20,200	B=11%
5/28	528	-	-	10.3	5,070	81,200	20,000	F=11.5%
5/30	530	-	-	8.5	6,113	87,551	27,200	P=11%
6/4	604	-	-	6.9	5,750	91,300	26,000	R=11.8%
6/11	611	-	-	7.5	7,210	89,999	18,900	F=12.4% P=12%
6/13	613	-	-	9.1	8,555	121,118	23,111	R=12% P=8%

註：

1. 水樣編號 F、R、P、B 為生產單位提供單一產品的染料廢水。
2. 水樣編號 521~613 為廢水處理廠取樣之綜合廢水代號。
3. 污染比重為當日所採綜合廢水水樣內所含 F、R、P、B 水樣的比例、由生產單位提當日所生產染料別與廢水量，並分析 COD 數據後乘以水量計算之。

## 4.2 單一染料廢水於混凝中添加氯化鈣最適化操作參數評估

### 4.2.1 氯化鈣可行性分析

由於在染料製程廢水處理中較多是使用氫氧化鈣，鮮少有使用氯化鈣的案例，因此在進行氯化鈣最適化操作條件測試前，須進行添加氯化鈣的可行性實驗，以確認後續氯化鈣是否能夠在實廠添加。首先依據目前生產單位所排產的製程中依據產量，COD，磺酸根挑選出代號 F、R、P、B 四種具有代表性的水樣，分別添加相同的鈣離子濃度於水樣進行瓶杯實驗，表 4-1 列出以水樣 F、R、P、B 進行氯化鈣可行性分析之實驗結果，並將 COD 及色度去除率繪圖如圖 4-1 與圖 4-2 以便進行討論。

由圖 4-1 與 4-2 可看出添加氫氧化鈣對於色度去除率明顯略優於添加氯化鈣，但對於 COD 去除率來說四種水樣的平均表現添加氫氧化鈣或是氯化鈣差異不大。因此氯化鈣是具有取代氫氧化鈣作為此案例廠傳統化學混凝藥劑的可能性。

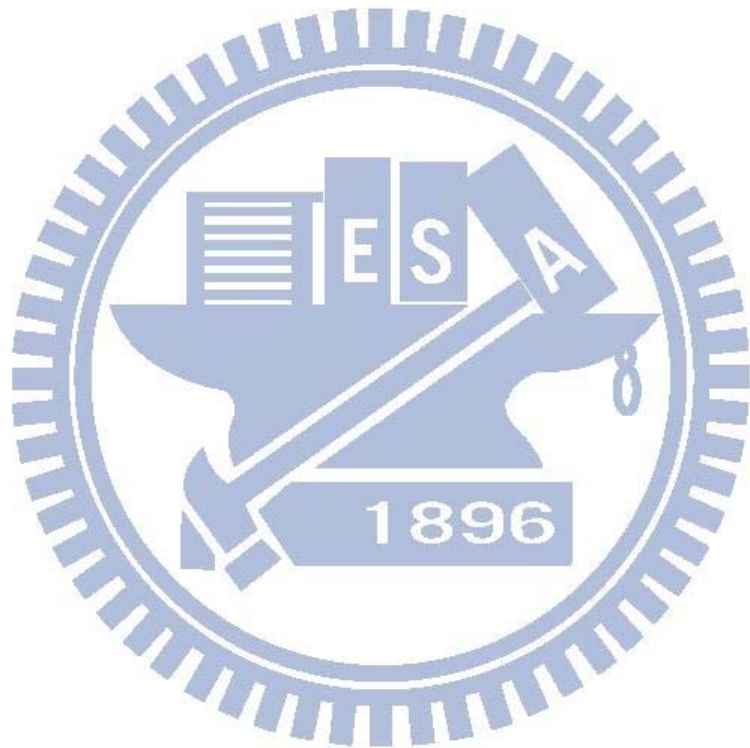
表 4-2 氯化鈣與氫氧化鈣對於單一染料廢水 COD 與色度去除效能之比較

分析項目 水樣， 添加藥劑	混凝 pH	真色色度		COD	
		殘餘色度 (units)	去除率 (%)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
水樣 F + CaCl <sub>2</sub>	8.3	37,823	91.2	2,805	53.4
水樣 F + Ca(OH) <sub>2</sub>	8.4	2,020	95.3	2,757	54.2
水樣 R + CaCl <sub>2</sub>	8.3	56,420	92.0	53,712	10.3
水樣 R + Ca(OH) <sub>2</sub>	8.1	28,210	96.0	52,634	12.1
水樣 P + CaCl <sub>2</sub>	8.2	6,885	91.0	7,693	28.9
水樣 P + Ca(OH) <sub>2</sub>	8.1	3,060	96.0	7,433	31.3
水樣 B + CaCl <sub>2</sub>	8.1	28,397	22.2	9,833	12.2
水樣 B + Ca(OH) <sub>2</sub>	8.0	24,455	33.0	9,620	14.1



註：

於實驗中均加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵及 1.9 g/L 鈣離子之氯化鈣與氫氧化鈣，並在最後加入 10 g/L 陰離子聚合物慢混助凝。氯化鈣與氫氧化鈣皆於硫酸亞鐵添加後再加入。混凝反應條件 pH 控制在 8.0~8.5 之間。



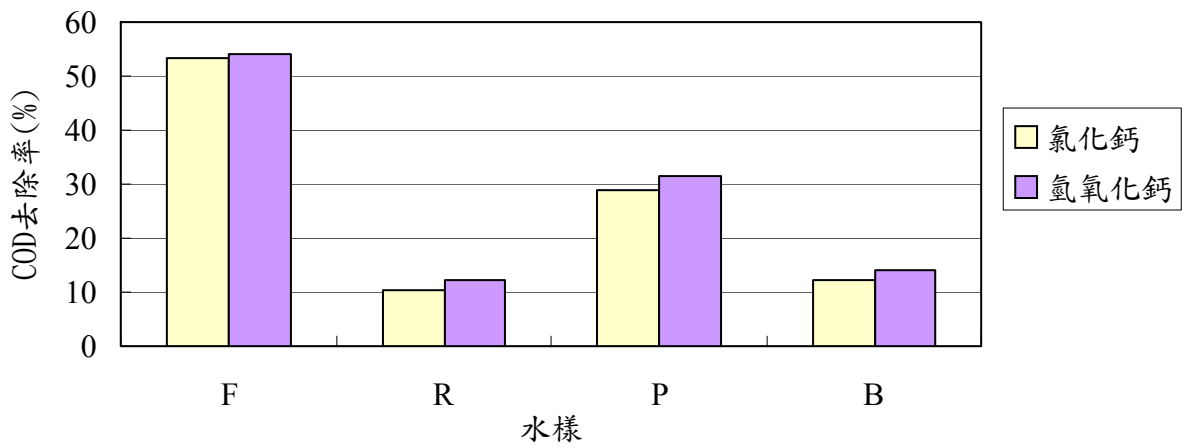


圖 4-1 氯化鈣與氫氧化鈣對不同染料廢水去除 COD 效能比較

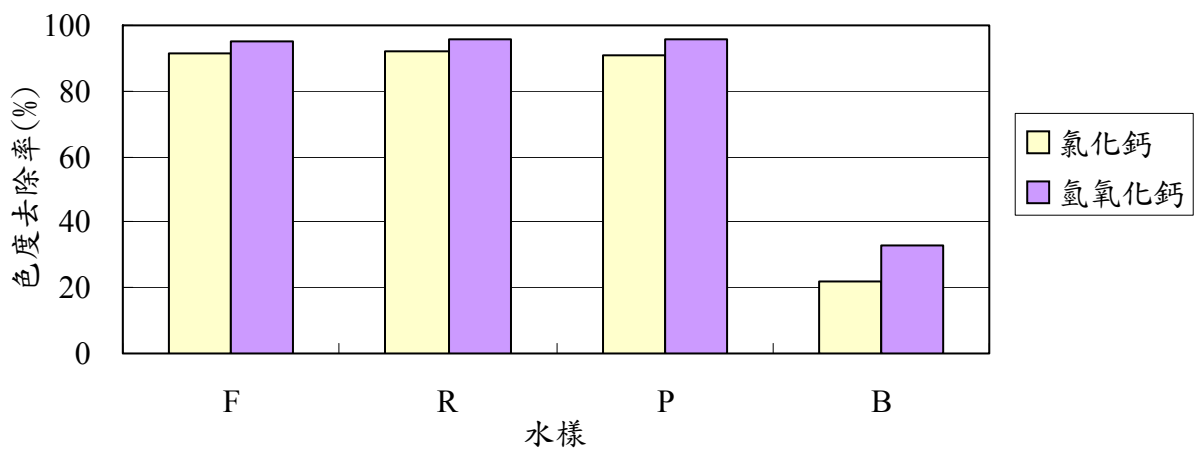


圖 4-2 氯化鈣與氫氧化鈣對不同染料廢水去除色度效能比較

#### 4.2.2 硫酸亞鐵加藥量對單一染料廢水混凝中添加氯化鈣之影響

經過 4.2.1 節試驗在添加相同鈣離子濃度下的氯化鈣與氫氧化鈣兩者之間的 COD 與色度去除率差異並不大，後續此節試驗目的是探討不同硫酸亞鐵的加藥量對於各廢水樣的 COD 與色度去除率，期望找到最適合的加藥比例以供現場廢水測試時參考與運用。表 4-2 列出以水樣 F、R、P、B 進行硫酸亞鐵劑量對於 COD 與色度去除率影響之實驗結果，並將 COD 及色度去除率繪圖如圖 4-3、4-4、4-5、4-6 以便進行討論。

由圖 4-3 顯示 F 水樣 COD 去除率在硫酸亞鐵 7.6 g/L 時有較好的表現，色度則為 9.5 g/L 時最佳。R 與 P 水樣 COD 與色度去除率，則皆在硫酸亞鐵 5.7 g/L 時為最佳，B 水樣 COD 去除率在硫酸亞鐵 5.7 g/L 時有較好的表現，色度為 9.5 g/L 時最佳。因此就各水樣數據顯示，COD 與色度去除率並不會因為隨著硫酸亞鐵的添加量提昇而增加，且同一股廢水 COD 與色度去除率的最佳加藥量也不會相同，而造成此種現象的原因，可能與各染料廢水結構不同有關。例如根據染料廢水水樣 R 的合成使用原料得知，廢水水質中含有大量的醋酸，於化學混凝中添加硫酸亞鐵不易被去除，因此使得 COD 去除率不明顯。另外水樣 B 中主要含有溶解性高，且分子量小的苯環類原料，同樣於化學混凝中不易去除，因此 COD 去除效能也明顯不佳。而水樣 F 與 P 中具有較大分子的染料中間體，溶解性差，則有助於化學混凝沉澱。

但考量實廠廢水處理流程並無分流，且若採用較高的加藥參數恐造成加藥過多形成藥劑浪費，以及有可能使處理效率降低等不良影響。因此評估上述 COD、色度去除率的整體表現後，建議後續實驗進行時硫酸亞鐵加藥量參數先以 5.7 g/L 進行，而日後於實廠測試時則視每日水質變化而適當的調整。

表 4-3 不同硫酸亞鐵劑量下對單一染料廢水之 COD 與色度去除效能

水樣 編號	分析項目 硫酸亞鐵劑量(g/L)	真色色度		COD	
		殘餘色度 (units)	去除率 (%)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
F	1.9	37,626	23.6	4,599	12.4
	3.8	16,721	49.6	3,044	61.1
	5.7	3,580	54.9	2,715	91.6
	7.6	3,082	63.6	2,191	92.8
	9.5	2,918	56.0	2,649	93.2
R	1.9	507,780	28.0	55,329	7.6
	3.8	260,943	63.0	53,892	10.0
	5.7	42,315	94.0	53,533	10.6
	7.6	70,525	90.0	54,730	8.6
	9.5	84,630	88.0	54,850	8.4
P	1.9	65,025	15.0	8,916	17.6
	3.8	32,895	57.0	8,548	21.0
	5.7	6,885	91.0	7,509	30.6
	7.6	7,650	90.0	7,725	28.6
	9.5	11,475	85.0	7,747	28.4
B	1.9	29,675	18.7	10,461	6.6
	3.8	30,040	17.7	9,968	11.0
	5.7	28,361	22.3	9,822	12.3
	7.6	29,127	20.2	9,453	15.6
	9.5	27,886	23.6	9,554	14.7

註：

- 1.每次實驗前先計算以氫氧化鈣為條件添加時所需劑量，並換算相同鈣離子濃度之氯化鈣劑量。
- 2.以硫酸亞鐵加入後反應條件控制在 pH=4.5~5.0，時間 1 分鐘，轉速 200 rpm。氯化鈣則在快混結束後以氫氧化鈉調整到 pH=8.0~8.5 後加入，最後再加入 10 g/L 陰離子聚合物慢混助凝。



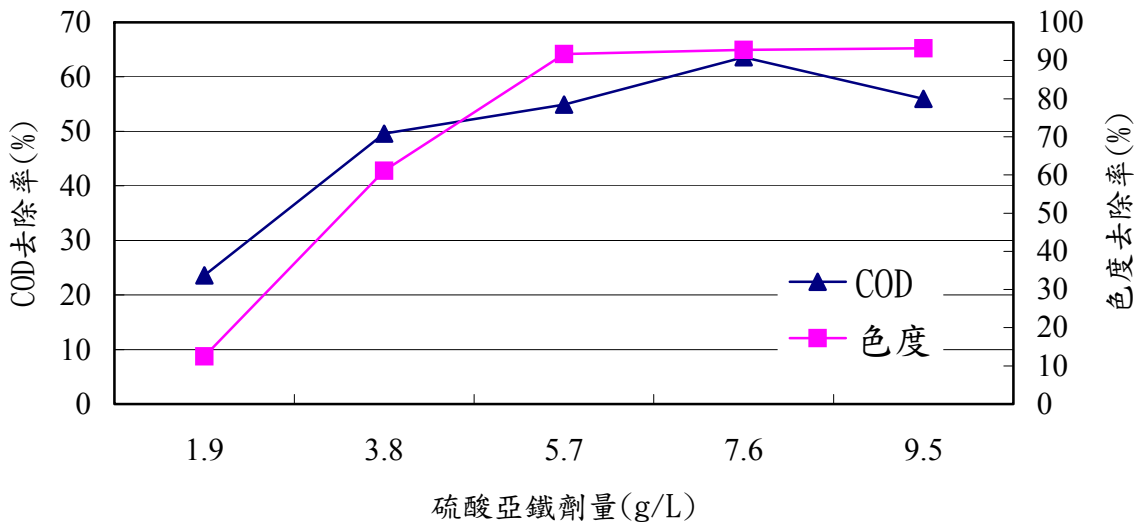


圖 4-3 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(F)COD 與色度去除效能之影響

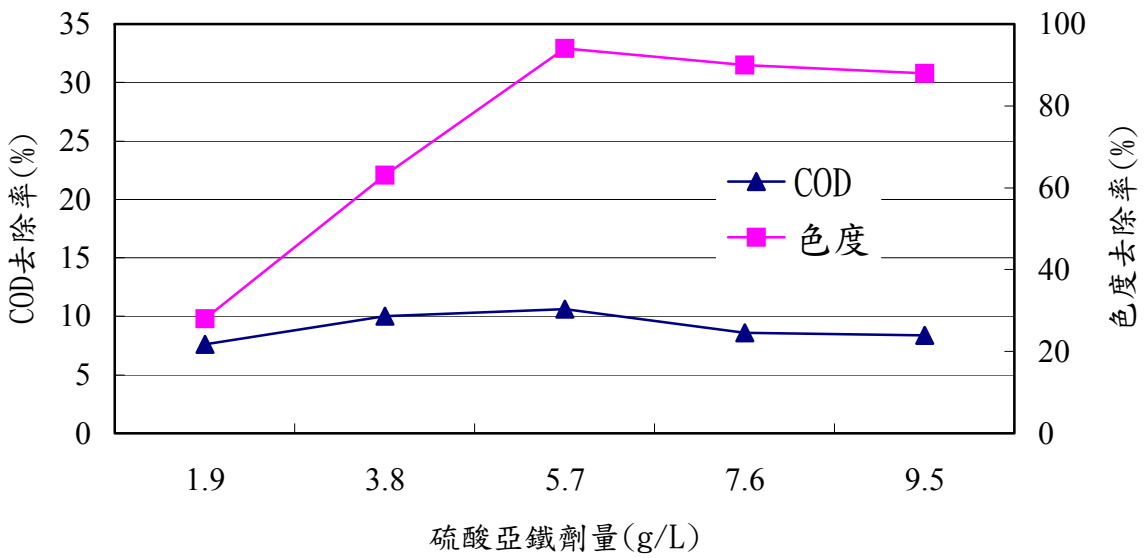


圖 4-4 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(R)COD 與色度去除效能之影響

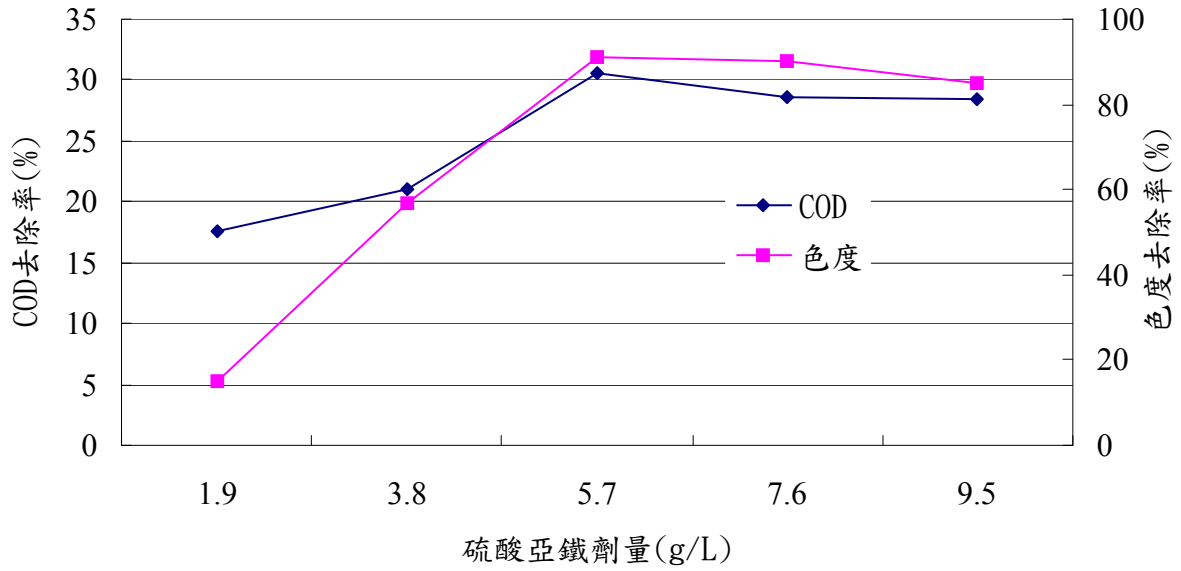


圖 4-5 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(P)COD 與色度去除效能之影響

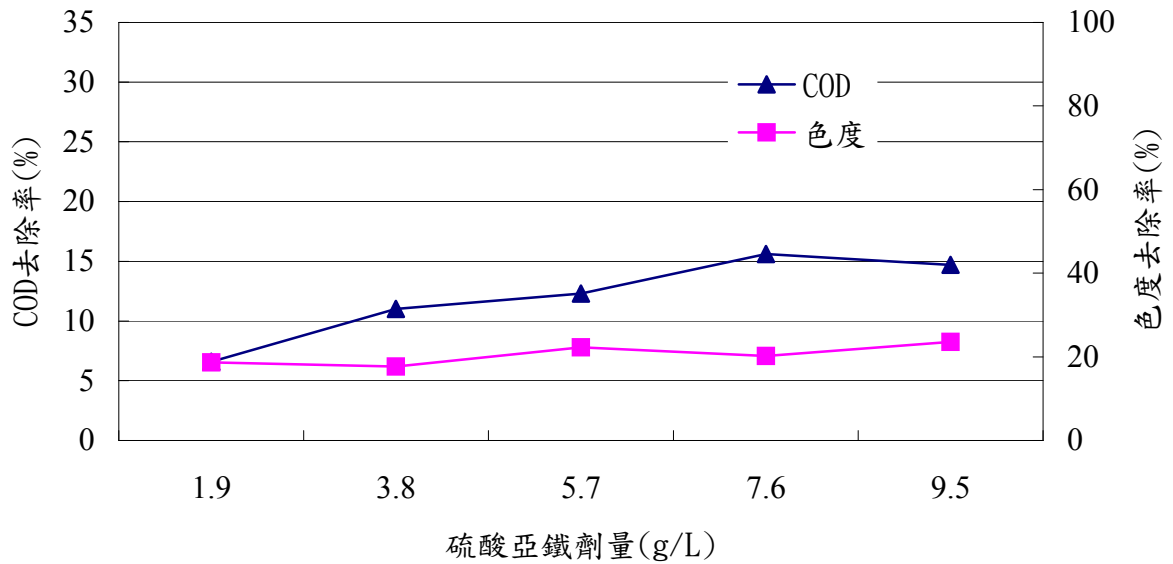


圖 4-6 不同硫酸亞鐵劑量對單一染料廢水(B)COD 與色度去除效能之影響

### 4.2.3 氯化鈣加藥量對單一染料廢水於混凝中之影響

由 4.2.2 節得知硫酸亞鐵最適加藥量為 5.7 g/L，因此本實驗將以上一節的操作參數為依據，變化氯化鈣添加量，分析各水樣在 0.65 g/L、1.3 g/L、2.6 g/L、3.9 g/L、5.2 g/L 的氯化鈣添加量時，觀察 COD 與色度去除率，以及膠羽的沉澱情形。表列 4-3 為不同氯化鈣劑量下單一染料廢水對於 COD 與色度之去除率表現，並將數據繪製成圖 4-7、4-8、4-9、4-10 以便後續進行討論。

由圖 4-7 得知，氯化鈣劑量添加的多寡對於水樣 F 的 COD 去除率沒有很明顯的改變，但在色度方面氯化鈣劑量增加到 2.6 g/L 之後有很明顯的上升。圖 4-8 同樣顯示，水樣 R 中氯化鈣添加量與 COD 去除率並無很明顯的差異，但色度去除率在藥劑添加量為 2.6 g/L 時最佳，之後氯化鈣添加量增加色度去除率反而下降。圖 4-9 顯示，水樣 P 與水樣 F 中氯化鈣添加量對 COD 去除效能上沒有太大的變化，色度去除率則是以 2.6 g/L 為最佳。水樣 B 則是在色度與 COD 去除效能上並無明顯的變化。綜合以上現象得到以下結論：

1. 氯化鈣劑量增加對於 COD 去除效能並沒有很明顯的幫助，造成此原因推估可能與氯化鈣添加後，水樣中氯離子濃度增加而干擾了 COD 的檢測。但因為本實驗是以每 2,000 mg/L 添加 0.6 g 硫酸汞的方式去除水中樣品氯離子的干擾，若要釐清此干擾因素則需進一步以高濃度鹵離子水中化學需氧量檢測方法來驗證。
2. 水樣 F、R、P 中氯化鈣劑量增加對色度去除率較水樣 B 明顯，推估原因，可能與廢水中的染料結構有關。F、R、P 染料廢水水樣，從合成使用原料與反應條件可推估，廢水中染料結構分子量較大，且具有 3~5 個磺酸根，因此加入氯化鈣時，氯化鈣於水中分解成鈣離子與氯離子，而鈣離子可能與其磺酸根反應，使染料分子析出，造成氯化鈣劑量增加而使色度去除率明顯提高的現象。但在加藥於一定量時，可能因為水中氯離子濃度偏高，而影響了混凝效能，使色度去除率反而降低。同樣從 B 染料廢水水樣的合成使用原料與反應條件，推估廢水中的結

構多屬於苯環類的原料，分子量小，而且溶解度較佳，且主要染料結構上不存在磺酸根。因此上述與 F、R、P 水樣的差異性，所以造成在色度去除效能比較上 F、R、P 水樣中添加氯化鈣對色度去除效能較水樣 B 明顯。

而考量避免加藥過量而使色度去除效率下降，後續實驗進行時，建議氯化鈣添加量以 2.6 g/L 進行。

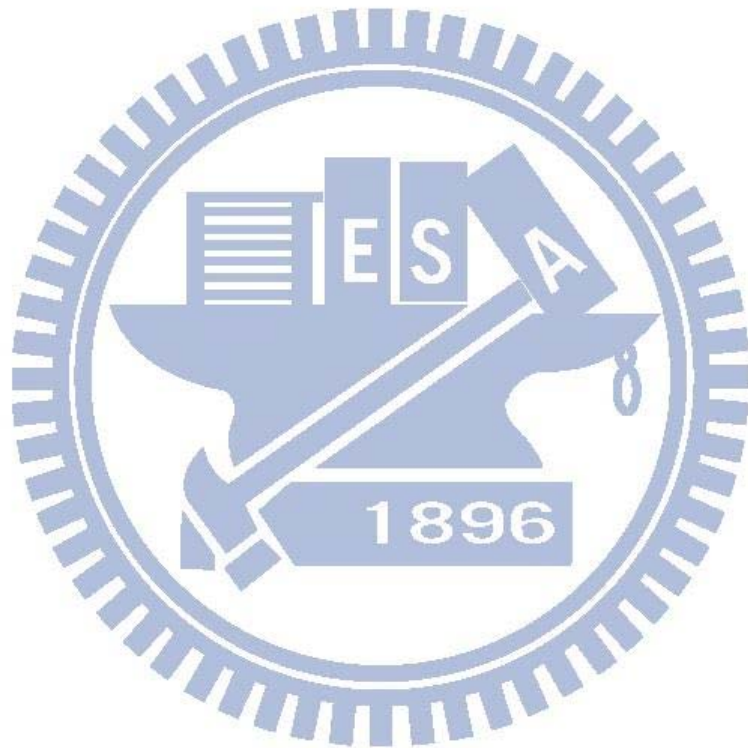


表 4-4 不同氯化鈣劑量下對單一染料廢水的 COD 與色度去除效能

水樣 編號	分析項目 氯化鈣劑量(g/L)	真色色度		COD	
		殘餘色度 (units)	去除率 (%)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
F	0.65	4,901	88.6	2,763	54.1
	1.3	4,772	88.9	2,775	53.9
	2.6	3,095	92.8	2,769	54.0
	3.9	2,708	93.7	2,721	54.8
	5.2	2,536	94.1	2,715	54.9
R	0.65	91,683	87.2	53,832	10.1
	1.3	76,167	89.3	53,593	10.5
	2.6	42,315	84.5	53,652	10.4
	3.9	52,189	93.2	53,473	10.7
	5.2	63,473	91.0	53,533	10.6
P	0.65	9,180	88.0	7,920	26.8
	1.3	8,415	89.0	7,888	27.1
	2.6	6,732	91.2	7,985	26.2
	3.9	6,809	81.1	7,953	26.5
	5.2	10,251	86.6	7,996	26.1
B	0.65	29,310	19.7	10,024	10.5
	1.3	29,492	19.2	9,990	10.8
	2.6	28,543	21.8	9,946	11.2
	3.9	28,324	22.4	9,968	11.0
	5.2	27,886	23.6	9,979	10.9

註：

於實驗中均加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵進行快混，pH 控制在 4.5~5.0，氯化鈣加入點於快混結束後，以氫氧化鈉將 pH 調整到 8.0~8.5 時再加入，最後加入 10 g/L 陰離子聚合物慢混助凝。



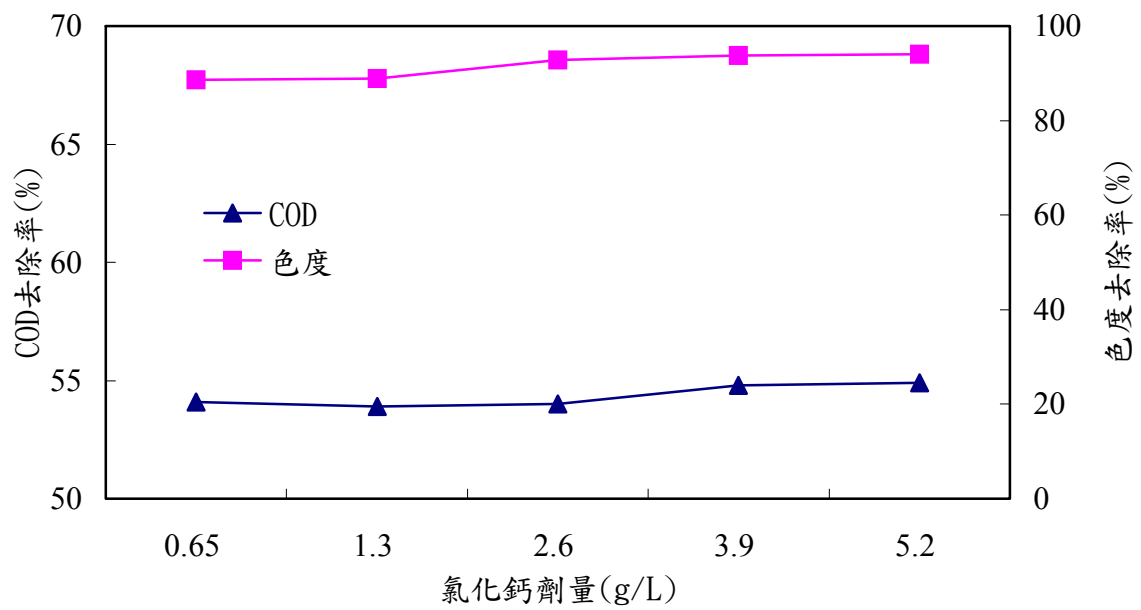


圖 4-7 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(F)的 COD 與色度去除效能之影響

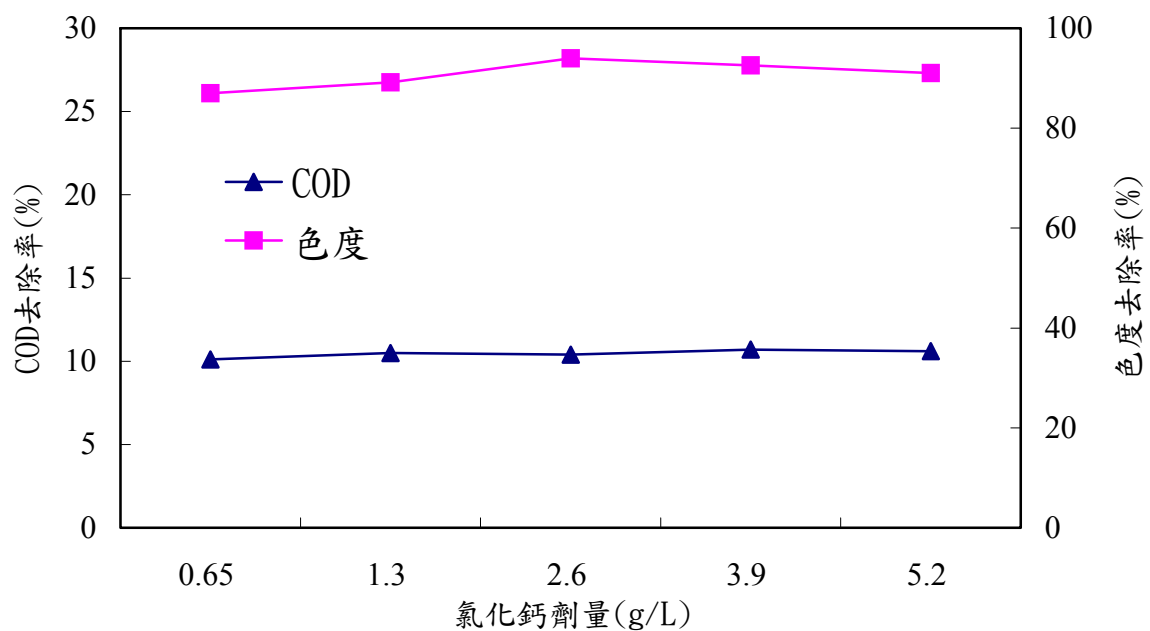


圖 4-8 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(R)的 COD 與色度去除效能之影響

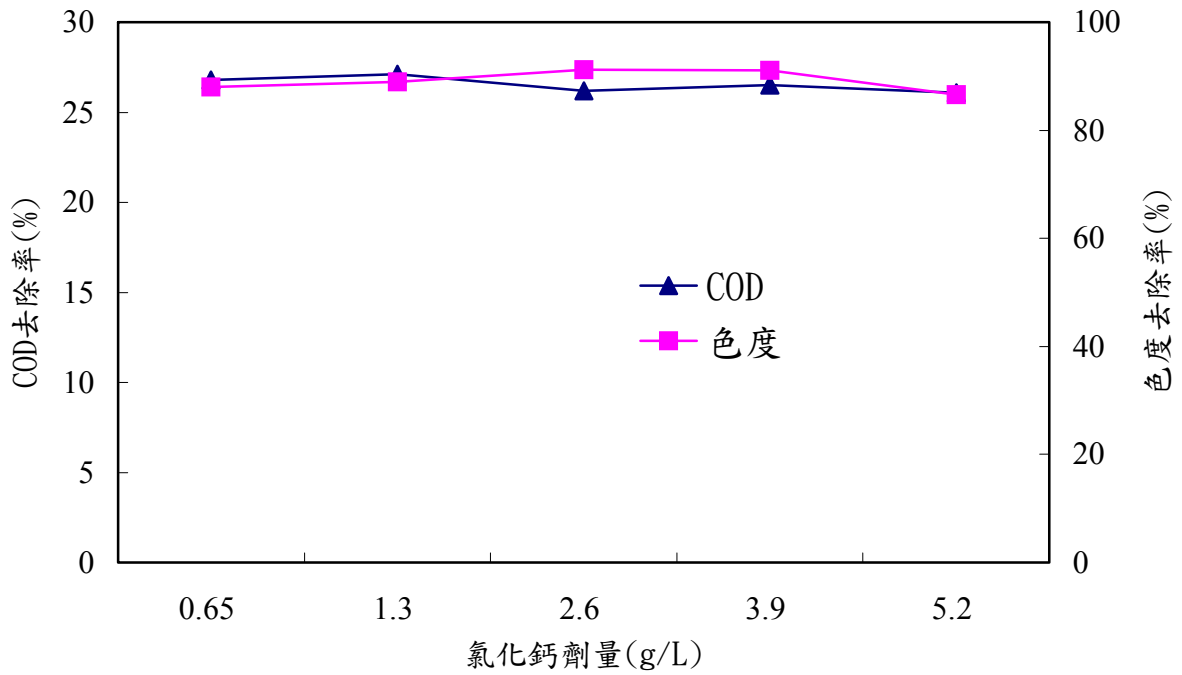


圖 4-9 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(P)的 COD 與色度去除效能之影響

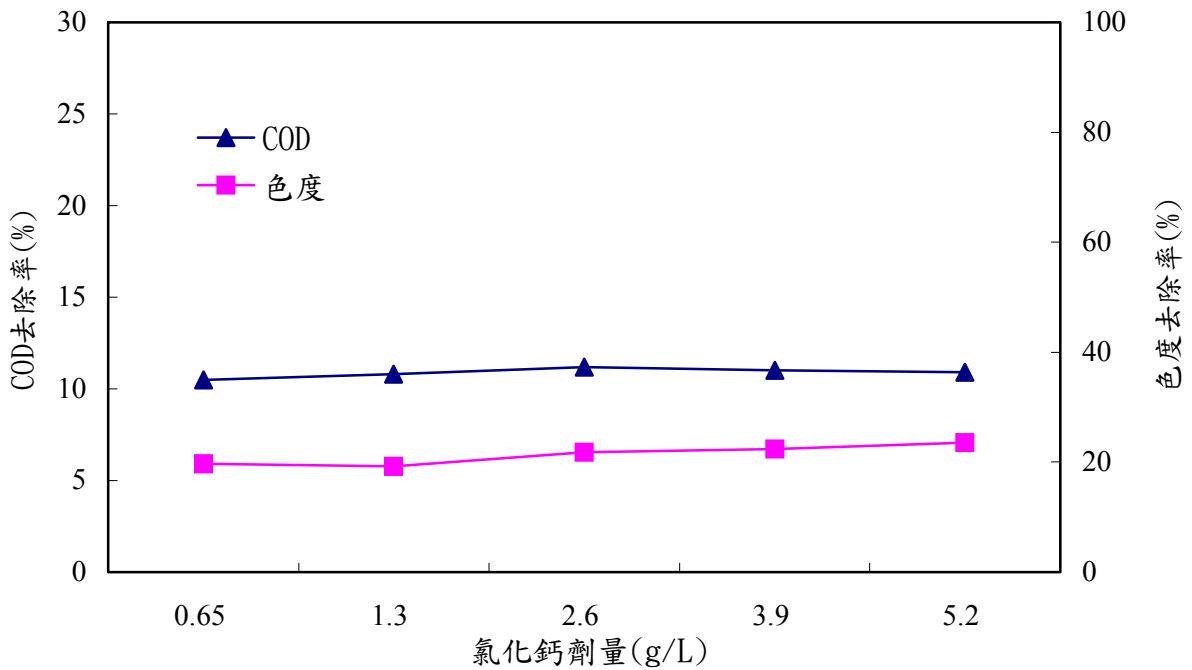


圖 4-10 不同氯化鈣劑量對單一染料廢水(B)的 COD 與色度去除效能之影響

#### 4.2.4 硫酸亞鐵與氯化鈣加藥順序對染料廢水混凝之影響

在確定氯化鈣與硫酸亞鐵兩者最適加藥量參數後，本節實驗將探討氯化鈣添加順序對於 COD 與色度的去除有何影響。表 4-4 為氯化鈣添加順序對 COD 及色度之去除效率，並將數據繪製成圖 4-11、4-12 以利後續討論。

由圖 4-11 與圖 4-12 可看出先加入硫酸亞鐵之 COD 與色度去除效能略優於先添加氯化鈣，此點與文獻<sup>(楊, 1999)</sup>中氫氧化鈣先加入略優於硫酸亞鐵的結果不同，推估造成此差異性原因為，氫氧化鈣顆粒表面具有吸附染料分子的功能，所以當氫氧化鈣先加入時，部分染料分子可能因此被吸附，因而提升了色度去除率。而氯化鈣為溶液狀態，因此無氫氧化鈣有顆粒表面能夠吸附染料分子的優勢。

表 4-5 不同加藥順序下對單一染料廢水之 COD 與色度去除效能

水樣編號	分析項目 加藥順序	真色色度		COD	
		殘餘色度 (units)	去除率 (%)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
F	1	3,568	91.7	2,703	55.1
	2	3,826	91.1	2,896	51.9
R	1	38,789	94.5	52,934	11.6
	2	52,189	92.6	53,952	9.9
P	1	6,120	92.0	7,433	31.3
	2	7,497	90.2	7,715	28.7
B	1	28,251	22.6	9,766	12.8
	2	28,762	21.2	10,147	9.4

註：

1. 加藥順序 1 表示先加入硫酸亞鐵，加藥順序 2 表示先加入氯化鈣。
2. 於實驗中均加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵進行快混，pH 控制在 4.5~5.0，而最後添加 10 g/L 陰離子聚合物慢混助凝前，均先加入氫氧化鈉將 pH 調整到 8.0~8.5 時再加入。

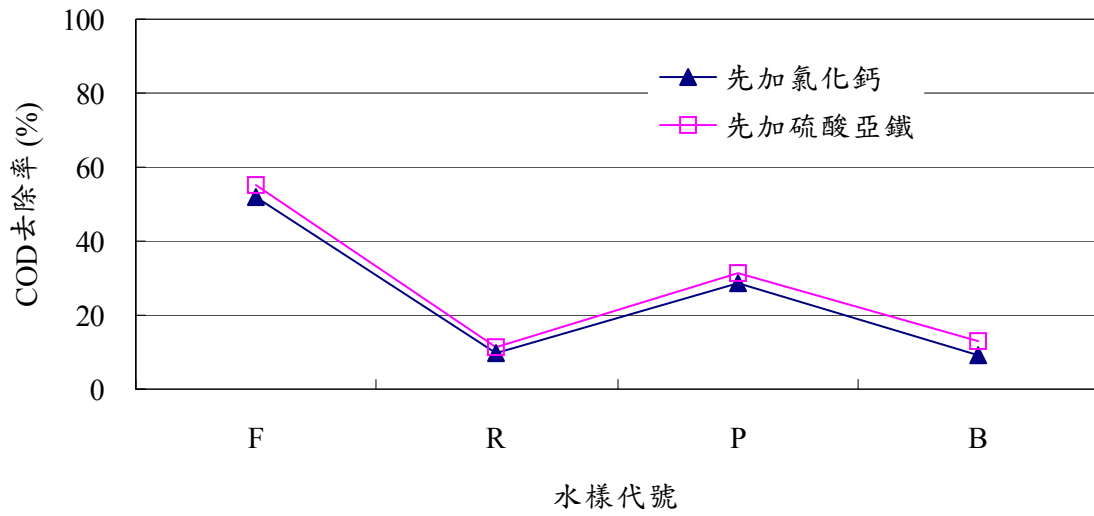


圖 4-11 不同加藥順序對 COD 去除效率之影響

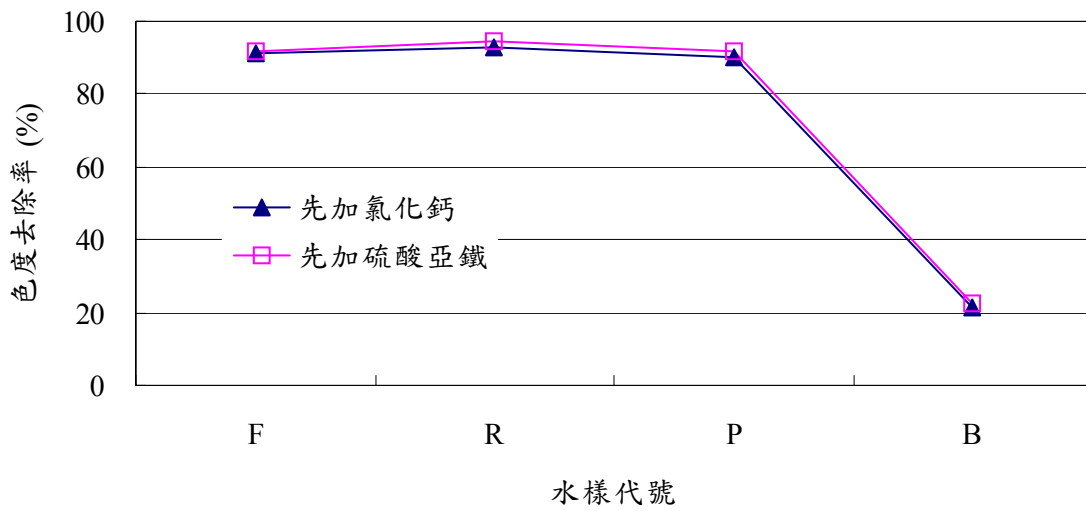


圖 4-12 不同加藥順序對色度去除效率之影響

## 4.3 現場綜合廢水添加氯化鈣實驗

### 4.3.1 不同加藥組合對綜合廢水之影響

經由 4.2 節現場單一染料製程廢水測試實驗數據得知，最適參數如下：

1. 硫酸亞鐵最適加藥量為 5.7 g/L。
2. 氯化鈣最適加藥量為 2.6 g/L。
3. 氯化鈣加藥點則在硫酸亞鐵之後添加。

接下來每週於現場進行兩次綜合廢水取樣，並以三種加藥組合進行瓶杯實驗並收集 COD 與色度去除率，膠羽沉澱效果、污泥產出量..等數據做比較，以作為後續在實廠廢水處理流程實際添加氯化鈣時的依據。表 4-6 與 4-7 列出從 2013/5/21 到 2013/6/13 所採取綜合廢水進行加藥組合測試，對於 COD、色度去除率、污泥產出量之實驗結果，並將 COD 及色度去除率繪圖如圖 4-13、4-14、4-15 以便進行討論。

由圖 4-13 可得知 COD 去除效能普遍以硫酸亞鐵加上氫氧化鈣組合較佳，而只添加硫酸亞鐵與硫酸亞鐵加氯化鈣之組合則是去除效能相當，但其中在水樣 521 與 611 實驗數據顯示，添加氯化鈣之去除 COD 效能略優於添加氫氧化鈣，表示仍然有某些廢水較適合添加氯化鈣。但在廢水變異大，且此次採樣為每週兩次，實驗數據較少之因素下，無法有效比較綜合廢水中添加氯化鈣與添加氫氧化鈣何者為優。而在色度去除效能方面，還是以添加氫氧化鈣的組合較佳，但同樣由圖 4-14 可看出水樣 611 以添加氯化鈣的組合在色度去除率上略優於添加氫氧化鈣，其結果與圖 4-15 相同。同樣顯示某些廢水是較適合以添加氯化鈣作為混凝藥劑，如水樣 611。



表 4-6 不同加藥組合下綜合廢水之 COD 與色度去除效能

水樣編號	分析項目 加藥組合	真色色度		COD	
		殘餘色度 (units)	去除率 (%)	殘餘濃度 (mg/L)	去除率 (%)
521	1	7,311	89.7	1,776	14.2
	2	7,247	89.8	1,745	15.7
	3	7,204	89.9	1,706	17.6
523	1	14,288	77.6	2,180	24.0
	2	14,865	76.7	2,090	27.2
	3	14,386	77.4	2,225	22.5
528	1	12,300	84.9	3,900	23.1
	2	11,000	86.5	3,710	26.8
	3	12,999	84.0	3,870	23.7
530	1	10,331	88.2	4,628	24.3
	2	7,792	91.2	4,420	27.7
	3	9,718	88.9	4,579	25.1
604	1	21,456	76.5	4,226	26.5
	2	17,256	81.1	4,111	28.5
	3	23,555	74.2	4,215	26.7
611	1	13,140	85.4	4,939	31.5
	2	10,620	88.2	4,780	33.7
	3	12,330	86.3	4,997	30.7
613	1	21,438	82.3	6,048	29.3
	2	15,624	87.1	5,860	31.5
	3	22,770	81.2	5,971	30.2

註：

- 1.加藥組合 1 為只添加硫酸亞鐵，加藥組合 2 為硫酸亞鐵+氫氧化鈣，加藥組合 3 為硫酸亞鐵+氯化鈣。
- 2.於實驗中均加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵進行快混，pH 控制在 4.5~5.0，氯化鈣加入點於快混結束後，以氫氧化鈉將 pH 調整到 8.0~8.5 時再加入，最後加入 10 g/L 陰離子聚合物慢混助凝。

而在污泥產出量方面，由圖 4-15 明顯的知以添加氫氧化鈣的組合為最多，這也是預估一般在使用氫氧化鈣作為化學混凝藥劑時會有的結果。而在使用氯化鈣所產生的污泥相對之下就比氫氧化鈣少的多，而只添加硫酸亞鐵為最少。但因為添加氫氧化鈣的 COD 與色度去除效能也皆優於其他兩種加藥組合方式，因此為比較三種加藥組合每單位 COD 所產出的污泥量，所以將 COD 與污泥產量繪製成圖 4-16。可看出添加氫氧化鈣去除每單位 COD 的污泥最多而氯化鈣與硫酸亞鐵次之。



表 4-7 不同加藥組合下綜合廢水之污泥產出量與去除 COD

水樣編號	分析項目	每去除 1 克 COD 污泥產出量 (g 污泥/gCOD)	污泥產出量 (g/L)
	加藥組合		
521	1	18.98	5.6
	2	41.05	13.3
	3	27.23	9.9
523	1	8.83	6.1
	2	24.92	19.4
	3	17.78	11.5
528	1	6.98	8.2
	2	19.04	25.9
	3	13.69	16.4
530	1	7.54	11.2
	2	18.43	31.2
	3	13.88	21.3
604	1	6.89	10.5
	2	17.57	28.8
	3	12.77	19.6
611	1	6.74	15.3
	2	13.79	33.5
	3	11.25	24.9
613	1	7.22	18.1
	2	12.65	34.1
	3	9.95	25.7

註：

1. 加藥組合 1 為只添加硫酸亞鐵，加藥組合 2 為硫酸亞鐵+氫氧化鈣，加藥組合 3 為硫酸亞鐵+氯化鈣。
2. 於實驗中均加入 5.7 g/L 硫酸亞鐵進行快混，pH 控制在 4.5~5.0，氯化鈣加入點於快混結束後，以氫氧化鈉將 pH 調整到 8.0~8.5 時再加入，最後加入 10 g/L 陰離子聚合物慢混助凝。

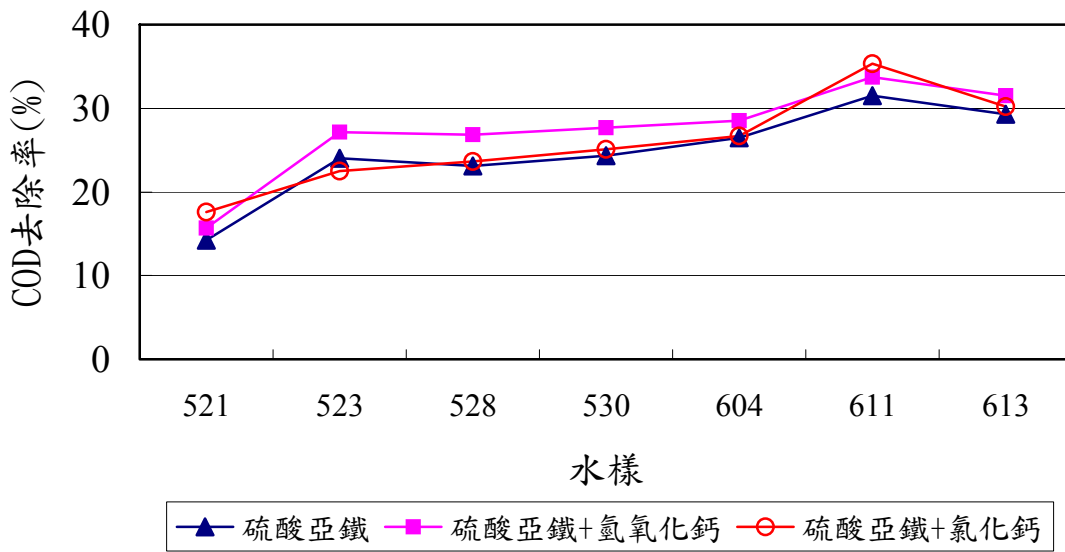


圖 4-13 綜合廢水以不同加藥組合對於 COD 去除效能之比較

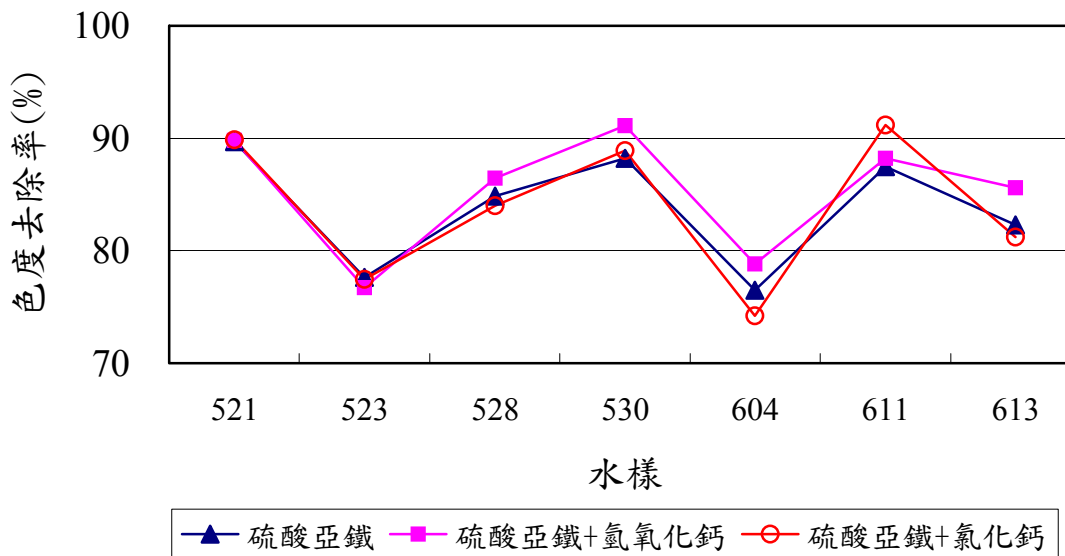


圖 4-14 綜合廢水以不同加藥組合對於色度去除效能之比較

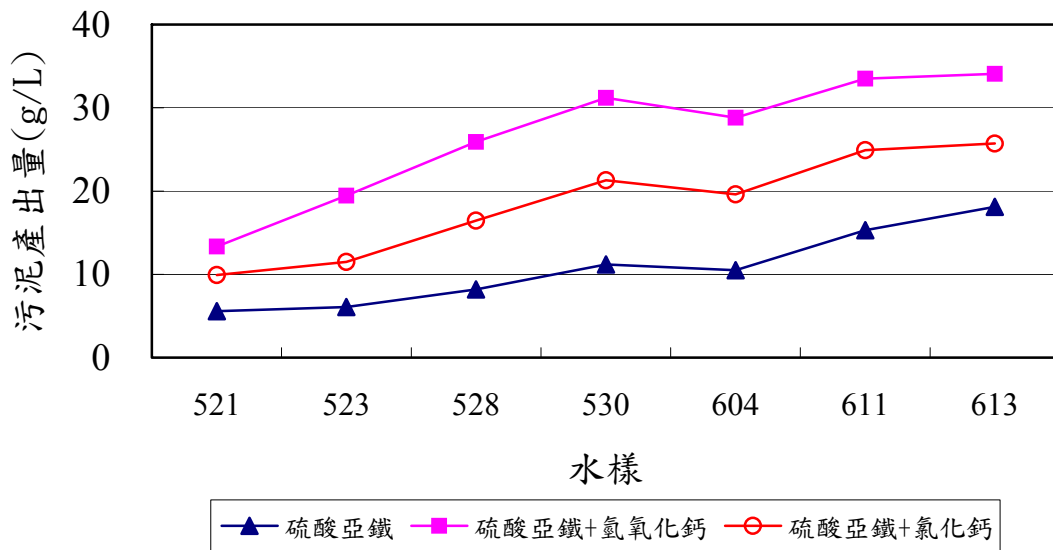


圖 4-15 綜合廢水以不同加藥組合對於污泥產出量之比較

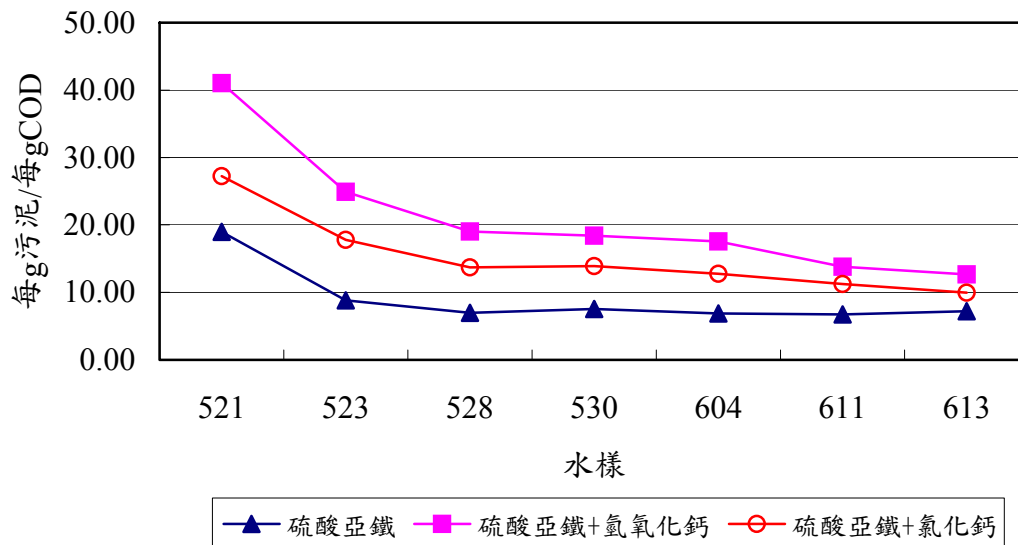


圖 4-16 綜合廢水以不同加藥組合每去除 1 克 COD 的污泥貢獻度



### 4.3.2 氯化鈣實廠添加效益評估

從 2013 年 7 月到 8 月依 4.3.1 瓶杯實驗所得氯化鈣最適加藥參數於實廠進行測試(氯化鈣劑量為 2.6 g/L、硫酸亞鐵劑量為 5.7 g/L、氯化鈣加藥點於硫酸亞鐵添加後加入)，除例假日外每日取樣進行相關水質分析，如 COD 去除率、色度去除率、污泥產出量、污泥固含量、混凝沉澱池上澄液 SS..等相關數據，並與案例廠提供 2013 年 5 月份數據添加氫氧化鈣所得數據做比較，整理後如下表列 4-8 所示。

表 4-8 實廠添加氯化鈣與氫氧化鈣各項數據統計平均值

項目 添加藥劑	污泥量 (g/L)	污泥 固含量(%)	沉澱池 上澄 SS (mg/L)	COD 去除率(%)	色度 去除率(%)	數據收集
氫氧化鈣	4.7	44.5	42	38.5	81.6	2013 年 5 月
氯化鈣	3.2	43.7	55	36.3	74.8	2013 年 7、8 月

註：

污泥量與污泥固含量統計，是依廢水處理場總處理廢水量與總污泥產出量做比較。

由表 4-8 數據可得知，雖然兩者數據收集的日期不同，水質也不相同，但添加氯化鈣的 COD 與色度去除率與氫氧化鈣相比相差並不大。再者觀察添加氯化鈣後沉澱池上澄液 SS 平均為 55 mg/L，與添加氫氧化鈣時的數據 42 mg/L 差異不大，顯示氯化鈣同樣具有一定的沉澱效果。而在污泥量與污泥固含量數據比較，添加氯化鈣污泥量為 3.2 g/L，添加氫氧化鈣為 4.7 g/L，可看出添加氯化鈣在污泥量上有明顯的減少。另外兩者污泥固含量分別為 44.5%與 43.7 %也相當接近。綜合上述可得知氯化鈣雖然在 COD 去除率、色度去除率、污泥固含量、沉澱池上澄液 SS 四項數據略差於氫氧化鈣，但添加期間放流水 COD 並未有明顯變差的現象，且污泥量較添加氫氧化鈣時少，因此就目前數據觀察氯化鈣於實廠添加是可行的。

### 4.3.3 氯化鈣實廠添加操作費用評估

依人工操作費用、動力費用、藥劑成本、污泥清運費四個項目，收集氯化鈣 2013 年 7 月~8 月實廠使用數據，而氫氧化鈣則依 2013 年 5 月份案例廠所提供數據，兩者整理統計後，歸納如下表 4-9。

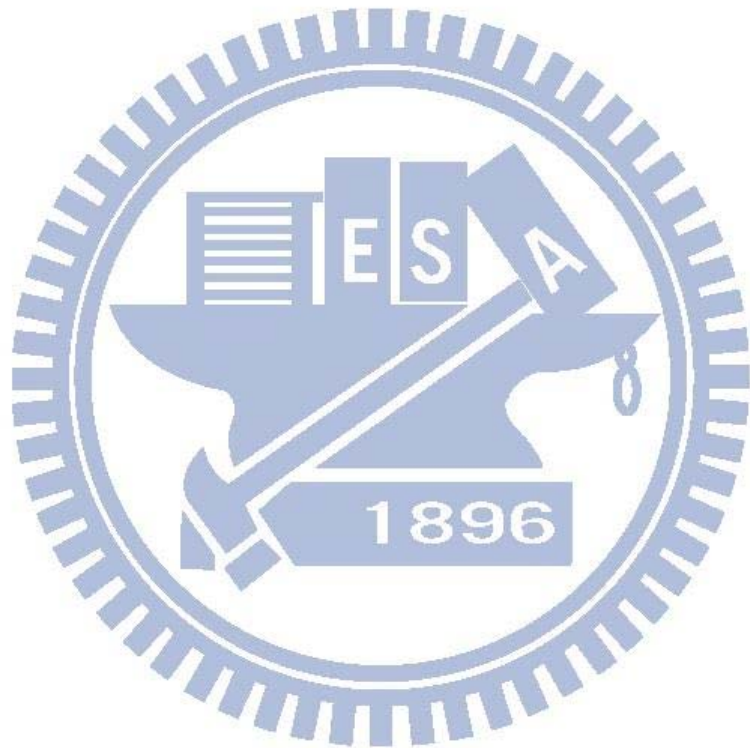
表 4-9 顯示實廠添加氯化鈣測試下每噸廢水處理費用約 48.4 元，少於氫氧化鈣 57.3 元，主要差異為污泥清運費，因此在操作成本上氯化鈣比氫氧化鈣具優勢。而且氯化鈣於實廠測試期間，案例廠員工不必再配製粉態氫氧化鈣，明顯感受工作負荷降低，也改善了工作環境空氣品質。

表 4-9 氯化鈣與氫氧化鈣操作成本評估表

	使用氫氧化鈣 (以 2013 年 5 月為例)	使用氯化鈣 (2013 年 7~8 月實廠使用)
人工費用	配製時間，每 2 小時/次 2 小時/次*22 次/月*200 元/小時.人=8,800 元/月	輸料作業時間，每 1 小時/次 1 小時/次*2 次/月*200 元/小時.人=400 元/月
動力費用	所需動力設備：30HP 攪拌機，2HP 加藥機 電費=2.5 元/度 32HP*0.75KW/HP.hr*度/KW*2.5 元/度 *24hr*30=43,200 元/月	所需動力設備：2HP 加藥機 電費=2.5 元/度 2HP*0.75KW/HP.hr*度/KW*2.5 元/度 *24hr*31=2,790 元/月
藥劑費用	氫氧化鈣=3.6 元/kg 5 月份約使用 22,000kg*3.6 元/kg=79,200 元/月	1.氯化鈣=2.5 元/kg 平均每月份約使用 20,000kg *2.5 元/kg =50,000 元/月 2.氫氧化鈉=5 元/kg 每月約增加 60000kg*5 元/kg =300,000 元/月
污泥清運費	污泥處理費用=5 元/kg. [4.7g/L/0.445]*30000 噸/月*1000L/噸 *kg/1000g*5 元/kg=1,590,000 元/月	污泥處理費用=5 元/kg [3.2g/L/0.437]*30000 噸/月*1000L/噸 *kg/1000g*5 元/kg=1,098,398 元/月
平均 (元/每噸廢水)	57.37 元/每噸廢水 人工+動力+藥劑+污泥清運=1,721,200 元 以月處理 30,000 噸廢水計算	48.4 元/每噸廢水 人工+動力+藥劑+污泥清運=1,451,588 元 以月處理 30,000 噸廢水計算

註：

1. 本次費用因硫酸亞鐵藥劑費用相同因此未計算在內。
2. 污泥清運費先統一換算為固含量 44.5 % 與 43.7 % 的污泥量，再乘以每公斤污泥清運費。
3. 氫氧化鈉與氯化鈣使用量為統計 2013 年 7 月~8 月間日平均使用量後，再以每月 30 日為基準計算月使用量。



## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

1. 在 COD 與色度去除效能比較上，無論是單一染料製程廢水與綜合性廢水，添加氫氧化鈣與氯化鈣兩者差異不大，但添加氯化鈣則能避免產生過量污泥之情形。
2. 氯化鈣添加量的多寡對於 COD 去除效能並無很明顯的幫助。但對於色度去除率來說，某些廢水添加氯化鈣色度較添加氫氧化鈣略佳，如水樣編號 611。
3. 以瓶杯實驗求得最適參數為氯化鈣劑量為 2.6 g/L，硫酸亞鐵劑量建議為 5.7 g/L，氯化鈣加藥點在硫酸亞鐵之後加入。並於實廠測試中數據得知氯化鈣取代氫氧化鈣於實廠添加是可行的。
4. 實廠添加氯化鈣每噸廢水處理費用平均為 48.4 元，低於添加氫氧化鈣 57.3 元。而其中最主要差異為污泥量的差異所造成，添加氫氧化鈣污泥量為 4.7 g/L，添加氯化鈣污泥量為 3.2 g/L。

## 5.2 建議

1. 建議日後可探討氯化鈣與氫氧化鈣依不同比例添加，期能達到 COD 與色度去除率維持一定效能，同時又能避免添加氫氧化鈣有加藥過量之情形。
2. 由於實廠測試時礙於廢水變異大且該案例廠調勻池本身容積不足，導致無法準確的分析加藥量、COD 去除率、色度去除率三者之相關性，因此建議未來應改善調勻設施，如清除調勻池淤泥以恢復容積..等措施，以增加廢水緩衝容積與停留時間，提升調勻池功能，藉以改善因廢水變異而影響加藥參數之不良現象。





## 參考文獻

Randtke,S.J., (1988) "Organic Contaminant Removal by Coagulation and Related Process Combination." *J.AWWA.*,80(3),40.

Riddick,T.M. (1961),"Zeta Potential and its Application to Difficult Waters" *Jour.AWWA*, Vol.53,pp.1007

游鴻國，Fenton 法處理螢光染料之研究，國立台灣科技大學纖維及高分子工程技術研究所碩士論文，1997。

楊裕隆、不同混凝藥劑關於染料製程廢水色度去除之評估，國立交通大學環境工程研究所碩士論文，1999。

葉茂淞，以天然與基因重組菌種進行偶氮染料褪色動力學之研究，逢甲大學化學工程學研究所士論文，2002。

郭啟祥，以電聚浮除法處理 Acid Orange 6 廢水之效能評估探討，國立台灣大學環工程研究所碩士論文，2003。

謝朋翰，Fenton 程序處理染整廢水色度之自動控制研究，國立聯合大學環境與衛生工程研究所碩士論文，2007。

高思懷、鄭義雄、張芳淑、鐘賜洋、劉松增，"以 Fenton 法處理染整廢水之實廠評估"第十七屆廢水處理技術研討會論文集，P705~714，1990。

胡苔莉、易寶珠，染料 Red G 之生物退色作用，第十六屆廢水處理技術研討會論文集 pp477-488，1991。

康世芳等，Fenton 法處理染料整廢水中難分解有機物之研究，第實七屆廢水處理技術研討會論文集，pp715-724，1992。

王敏泰，染料化學 pp14-20，五洲出版社，1982。

邱永亮，染色化學 pp84-109，徐氏基金會，1983。

劉蘇榮，積體電路產業—氟化鈣污泥減量檢討，清潔生產資訊，1995。