

中華民國第 60 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 生活與應用科學(二)科

團隊合作獎

032908

沂水春風，潔濁揚清

學校名稱：雲林縣私立揚子高級中學(附設國中)

作者： 國三 王閔溱 國三 吳尚原 國三 張宸珣	指導老師： 陳尚民 楊志堅
---	-----------------------------

關鍵詞：Fenton 法、UV/O₃、加壓浮除

摘要

紡織印染行業是工業污水排放大戶，此類污水的特點是有機物濃度高、組分複雜、色度深且多變等，屬難處理工業廢水之一，排入自然水體中將降低水中溶解氧濃度，阻礙光合作用和水體自淨，危害生態環境。因此，印染廢水必須經過生物化學處理以降低生物需氧量(BOD₅)及生化需氧量(COD)含量，但活性污泥等常規生物處理工藝對於印染廢水中有機物的降解收效甚微，通常在生物處理後搭配化學處理工藝以達到深度淨化的目的。在各類三級化學水處理方法中，本研究以新式 Fenton 法為基礎(屬高級氧化水處理技術)，因其水力停留時間短、去除效率高，成為處理紡染廢水的主流。

壹、研究動機

媒體上經常報導河川等水體污染現象，例如紀錄片《看見臺灣》中描述了後勁溪受科技業排放廢水影響嚴重，河川被“染”成了五顏六色，令人觸目驚心，凸顯出臺灣環境正受到污染議題的重要性。加之親戚從事環境污染治理相關行業，且對環境議題有著相當濃厚的興趣，與老師討論後，決定以鄰近工廠排放的廢水為研究物件，設計一套高級氧化汙水處理設備，達到改善污水色度的目的，最終實現印染廢水的有效處理和達標排放。



圖 1 斗六印染廠紡染廢水實況

貳、研究目的

本研究污水處理方式其研究目的分為下列幾點：

- 一、開發新式經濟實惠去除紡染污水COD與真色度的儀器。
- 二、研究染料有機污廢水在高級氧化下真色度及COD的去除率。
- 三、探討新式(Fenton)分藤法，利用H₂O₂、FeSO₄結合臭氧類氧化法O₃、光催化氧化法UV處理在不同加藥量下的真色度及COD的去除率和反應速率。
- 四、運用加壓浮除系統與原系統結合並處理水中的懸浮物質SS。

參、研究設備及器材

表 1、研究設備及其用途

編號	物品	數量	用途
一	筆記型電腦	1 部	撰寫與製作電子檔
二	微量天平	1 台	測劑量
三	pH 計	1 台	實驗用
四	幫浦	1 台	實驗循環
五	壓力管	20 尺	循環用
六	止水閥	1 個	控制水量
七	液鹼 45%	2 瓶	實驗用
八	碼表	數個	計時器
九	臭氧機	1 台	實驗用
十	紫外線燈	1 台	實驗用
十一	雙氧水 50%	500ml 2 瓶	實驗用
十二	硫酸亞鐵 5-6%	500ml 2 瓶	實驗用
十三	稀硫酸 10%	500ml 2 瓶	實驗用
十四	混凝劑 PAC	500ml 2 瓶	實驗用
十五	助凝劑 Polymer	500ml 2 瓶	實驗用
十六	取樣瓶	10 瓶	取樣用
十七	量筒	數只	實驗用
十八	滴管	數只	實驗用
十九	水質檢測器	1 組	測水質

肆、研究過程與方法

一、研究流程

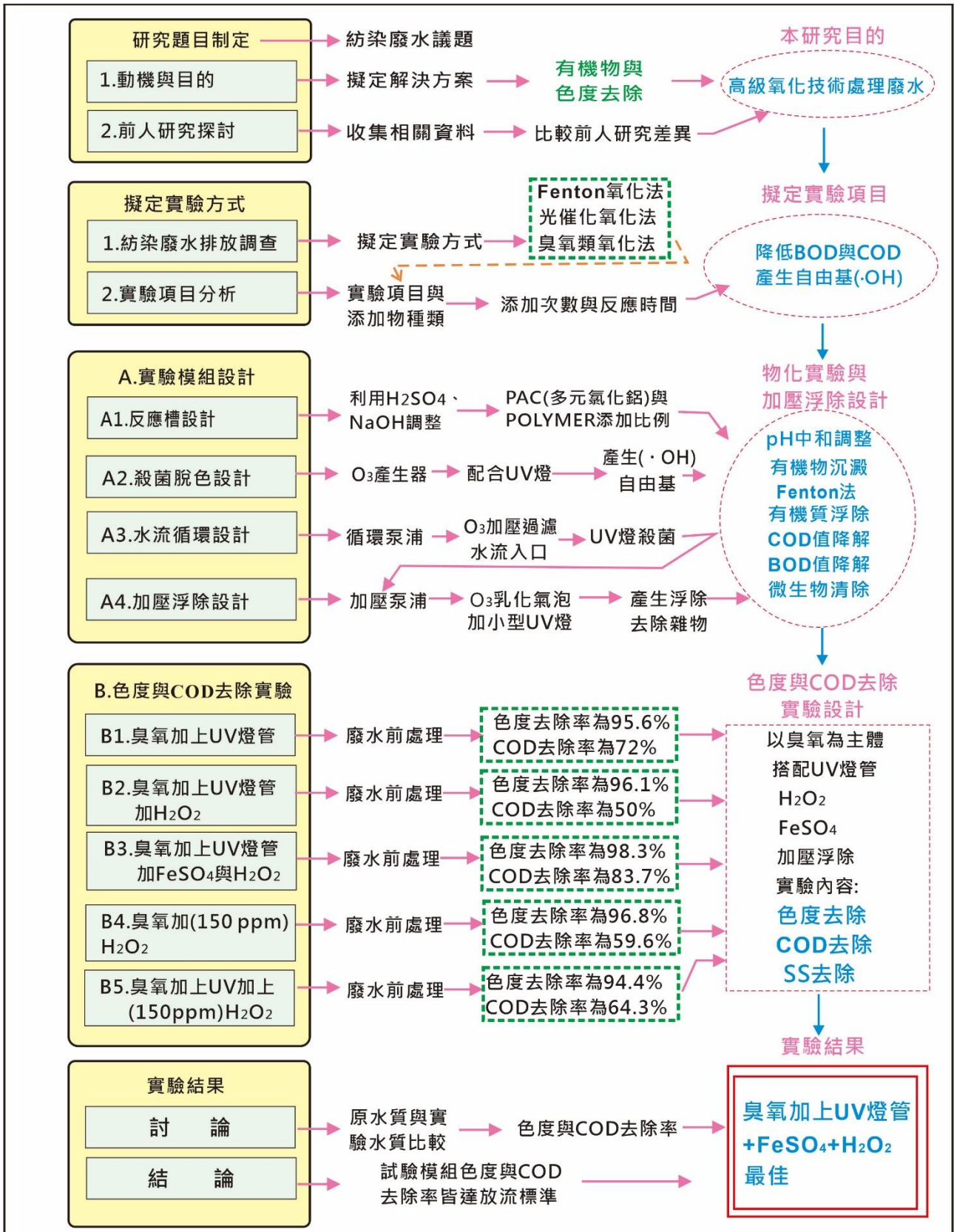


圖 2 研究流程圖

二、文獻蒐集

本研究採用高級氧化水處理技術(Advanced Oxidation Processes, AOPs)降解有機污染物，該技術在常溫常壓下產生羥基自由基($\cdot\text{OH}$)，使污染物直接礦化為 CO_2 和 H_2O ，或將污染物轉化為低毒及易生物降解的小分子物質。 $(\cdot\text{OH})$ 是一種非選擇性的強氧化自由基，其標準氧化還原電位高達 2.8V ，比其他常見的氧化劑具有更強的氧化能力，能使水中的有機物質迅速被氧化而得到降解。該技術對水中持久性難降解染料等有機物質尤為有效，可使印染廢水中 COD 值及色度大大降低，同時具有分解徹底、適用範圍廣、無二次污染等優點，因而備受關注。高級氧化水處理技術主要包括光化學催化氧化法、濕式催化氧化法、超臨界水氧化法、臭氧類氧化法、電化學氧化法及超聲氧化法等，表 2 比較了各類方法的優缺點。

表 2.各類高級氧化技術特點與改進方案

技術專案	優點	缺點	改進方案
Fenton 氧化法	反應條件容易控制，投資和運行成本適中，適用範圍廣	出水含大量鐵離子	與其他技術聯合使用，並加強鐵離子固化技術研究
光催化氧化法	反應條件溫和，氧化能力強	光源利用率較低，降解不夠徹底	研發新型光催化材料，聯合 Fenton 等技術
濕式氧化法	二次污染少，污染物分解徹底，水力停留時間短	反應溫度高，壓力大，設備要求高	研究高效穩定催化劑，研製高效反應器
超臨界水氧化法	處理效果好，反應速度快，無二次污染	對設備要求高，運行成本高	加強設備研發，發展耐腐蝕耐高溫高壓的新材料
臭氧類氧化法	降解能力強，不產生二次污染，操作簡單	設備複雜，投資大，耗電高，氣液傳質受限	研發新型高濃度臭氧發生器，其他新的聯用技術
電化學氧化法	處理效率高，易操作	投資運行成本較高，電極材料不易選擇	開發綜合性能好的電極材料，推廣三維電極
超聲波氧化法	反應條件溫和，氧化能力強	運行成本高	研究降解機理，與其他技術聯用

資料來源:本研究彙整

(一) 光催化氧化法

光催化氧化法是通過光照某些具有能帶結構的半導體光催化劑如TiO₂、ZnO、CdS、WO₃等，產生強氧化自由基(\cdot OH)，使許多難實現的化學反應在常規條件下進行。其中，TiO₂以無毒、活性高、氧化能力強、穩定性好、成本低等特點，成為最常用也最具潛力的一種光催化劑。

(二) 臭氧氧化法

臭氧是水處理工藝中一種常見氧化劑和消毒劑，能有效氧化分解氨基酸、芳香族和腐殖質等有機物。臭氧氧化方式處理有機廢水具有反應速率快及無二次污染等特點，因此在廢水處理中亦被廣泛應用。單純臭氧化工藝處理廢水面臨的主要問題在於氣液傳質效率低導致氧化效率不高，近年來大量研究集中於將臭氧與其他工藝相結合以提高處理效率，其中，O₃/H₂O₂是一種重要的聯合技術，它不產生二次污染，可產生(\cdot OH)直接將污染物礦化為二氧化碳和水；此外，UV/O₃深度處理方法也受到廣泛關注，臭氧在紫外光輻射下會分解產生(\cdot OH)降解有機污染物，比單獨臭氧處理工藝效率更高，UV/O₃氧化法現已成功地應用於處理工業廢水中的鐵氰酸鹽、氨基酸、醇類、含氮/硫/磷的有機化合物及氯代有機物等污染物；另外，引入超聲(US)也可使臭氧充分分散溶解，提高臭氧氧化能力，產生強氧化性(\cdot OH)自由基。總之，臭氧作為氧化劑具有高效及低成本的特點，在水處理中具有巨大的應用潛力。

(三) 電化學氧化法

近年來，電化學方法作為一種環境友好型技術在污染治理領域越來越受到人們的重視，在水處理尤其是生物難降解有機廢水處理方面是有效的，例如處理含有機磷農藥的廢水。但是由於其電極材料不易選擇、電極壽命不長和能耗較大等不利因素，使得電化學方法在水處理的應用受到限制，因此研發更加高效的電極材料及減少能耗將成為今後的研究重點。

(四)Fenton 氧化法

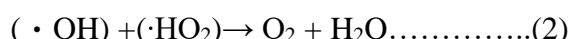
Fenton 試劑的作用原理是在酸性(pH 值為 2.5~3.5)條件下，二價鐵離子(Fe^{2+})和過氧化氫之間的鏈反應催化生成($\cdot\text{OH}$)，($\cdot\text{OH}$)具有相當強的氧化能力和很高強的親電性，其電子親和能力高達 569.3kJ，據此($\cdot\text{OH}$)能氧化眾多有機物，發生摘氫反應、親電加成、取代反應和電子轉移反應，進而使有機污染物降解。影響傳統 Fenton 法操作效能之變數則包含有 H_2O_2 添加量、pH 值、 Fe^{2+} 添加量、反應時間、 H_2O_2 及 Fe^{2+} 的添加次數及反應溫度。以下分別討論之。

1. H_2O_2 添加量

在添加量過低時，無法產生足夠的($\cdot\text{OH}$) 使有機物充分降解，因此可以很明顯地觀察到反應中 COD 之去除率隨著 H_2O_2 添加量的增多而增大，當添加量增加到某值時，COD 達到最大去除率，再增加 H_2O_2 的添加量，去除率反而呈下降趨勢，這時由於當體系中有機物的氧化分解反應已經完成，其產物的性質相對穩定，就不再和 H_2O_2 分解產生的($\cdot\text{OH}$) 發生反應，即($\cdot\text{OH}$)不會很快被消耗掉，因此，在反應體系中不會促成 H_2O_2 的繼續分解，從而在處理過的廢水中殘留有大量的 H_2O_2 ，幹擾 COD 的測定；此外， H_2O_2 濃度過高會加強對($\cdot\text{OH}$)的清除作用如方程式(1) 所示：



同時發生方程式(2)的反應：

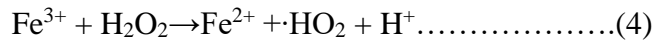
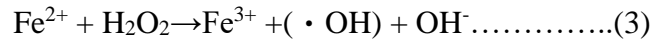


因此造成了 H_2O_2 的無效分解而導致氧化效率降低。

2. pH 值

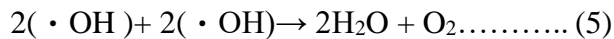
隨著 pH 由酸轉域，COD 的去除率逐漸降低，換句話說，酸性條件相對鹼性條件處理效果較好，這是因為 Fenton 試劑在酸性條件下生成($\cdot\text{OH}$)的，pH 值過高或過低對 COD 的去除都不利；pH 值過高時，不僅抑制了($\cdot\text{OH}$)的產生，而且使溶液中的 Fe^{2+} 以氫氧化物的形式沉澱而失去催化能力，均不利於式(3)向正方向進行；反之，pH 值

過低時，溶液中的 H^+ 濃度過高， H^+ 是 $(\cdot OH)$ 的淬滅劑，且對於式(4)來說，由於 H^+ 的濃度增加，使反應向左進行， Fe^{2+} 的再生受到抑制， $\cdot OH$ 的生成反應受阻。因此 pH 的變化直接影響到 $Fe^{2+}-Fe^{3+}$ 的絡合平衡體系，從而影響 Fenton 試劑的氧化能力。



3. Fe^{2+} 添加量

$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 是 Fenton 反應的前驅體，一般說來，隨著 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 添加量的增多，反應的 COD 去除率增大，這是由於當 Fe^{2+} 濃度很低時，雙氧水分解的反應速度很慢，產生的 $\cdot OH$ 量少，故其去除率也比較低，當隨著 Fe^{2+} 濃度的增加，反應速度加快，其去除率也會升高；但是當添加量達到一定值後，COD 的去除率隨著 Fe^{2+} 濃度的進一步增加呈下降的趨勢，這可能是由於在較高催化劑濃度下，在反應開始時，從 H_2O_2 中非常迅速地產生大量的 $\cdot OH$ ，單位時間內產生的 $\cdot OH$ 過多，來不及與有機物反應，使未消耗的遊離 $\cdot OH$ 聚集， $\cdot OH$ 相互反應生成水和氧氣，造成部分 H_2O_2 發生無效分解，從而使 COD 的去除率下降。：



$FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 的濃度除了影響 COD 去除效果外，也影響氧化的速度，氧化速度隨著 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 的濃度上升而升高，所以在保證 COD 去除量不變的前提下，適當增大 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 的添加濃度可以減少反應時間，這在工程上有較大意義，可以減少反應器的體積，但同時會增加添加 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 藥劑成本，也增加了後續處理的難度，因此，必須綜合考慮上面各因素決定 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 的最佳添加濃度。

4. 反應時間

一般來說，剛開始加入 H_2O_2 時，COD 的去除率隨時間的延長而增大，當時間超過某個值以後，COD 去除率基本維持穩定，這一方面是因為 Fenton 試劑的氧化速

度非常快，另一方面可能是因為反應過程中產生了一些難以被($\cdot\text{OH}$) 氧化的中間產物，因此，會有最佳反應時間。

從 Fenton 試劑的反應機理和實驗結果可以得知，當一次性將大量 H_2O_2 加入到反應體系，易引起 H_2O_2 的無效分解，因此，如果能把反應溶液中的 H_2O_2 濃度維持在較低的水準，可望減少 H_2O_2 的無效分解。在實際工程中應盡可能避免一次性將大量 H_2O_2 加入反應體系中，儘量採用連續添加的方式，把反應體系中 H_2O_2 濃度控制在較低的水準，減少其無效分解，降低運行成本。

四、實作流程

(一)：第一代實驗儀器，Fenton 法汙水處理設備製程設計

本研究將設備設計分成三個方面：

- (1) 硬體設備包含臭氧機、UV 燈、循環泵、pH 計、反應槽。
- (2) 藥品有雙氧水、稀硫酸、硫酸亞鐵、液鹼、混凝劑、助凝劑，及染整廢水生物處理後出流水。
- (3) 檢測儀器委外檢測真色度及 COD。

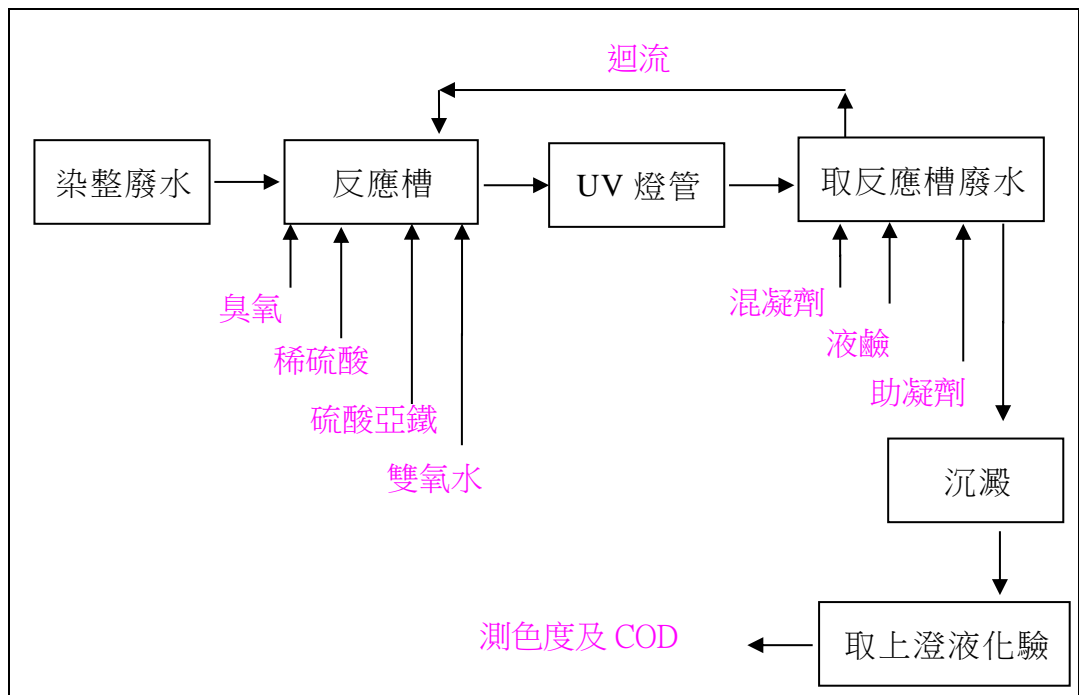


圖 3 設備製程分析

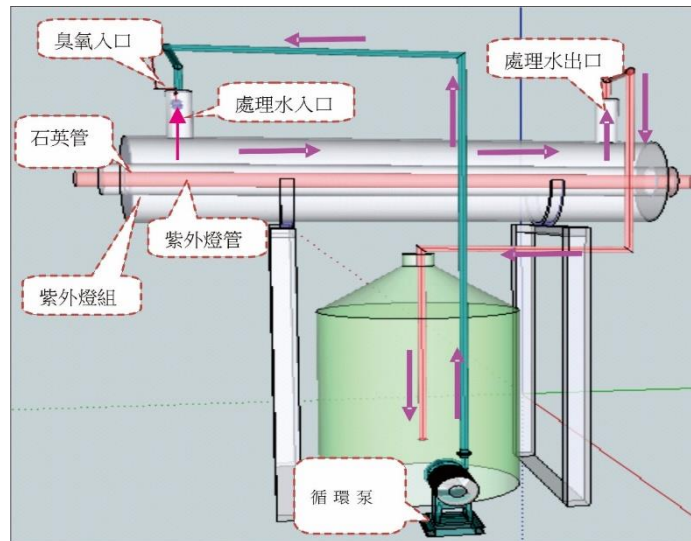


圖 4 立體設備詳圖

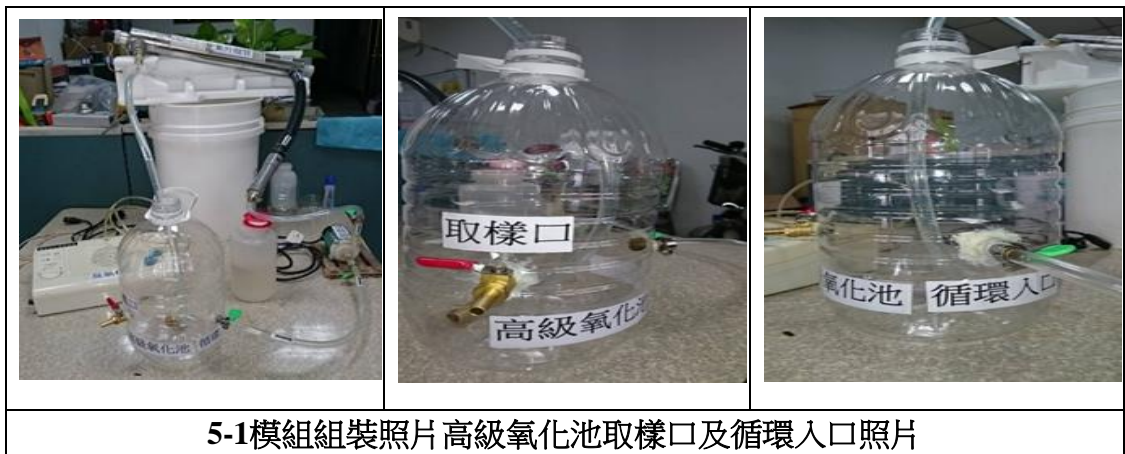
(二)：進流水水質水量設計

本研究進流水水質設計量如下所示：

表 3.進流水水質水量設計

(1)設計水量：	5-6 公升/批
(2) COD：	200-300 PPM
(3)真色度：	500-600 Pt/Co UNIT

(三)：Fenton 法汙水處理模組設計



5-1模組組裝照片高級氧化池取樣口及循環入口照片

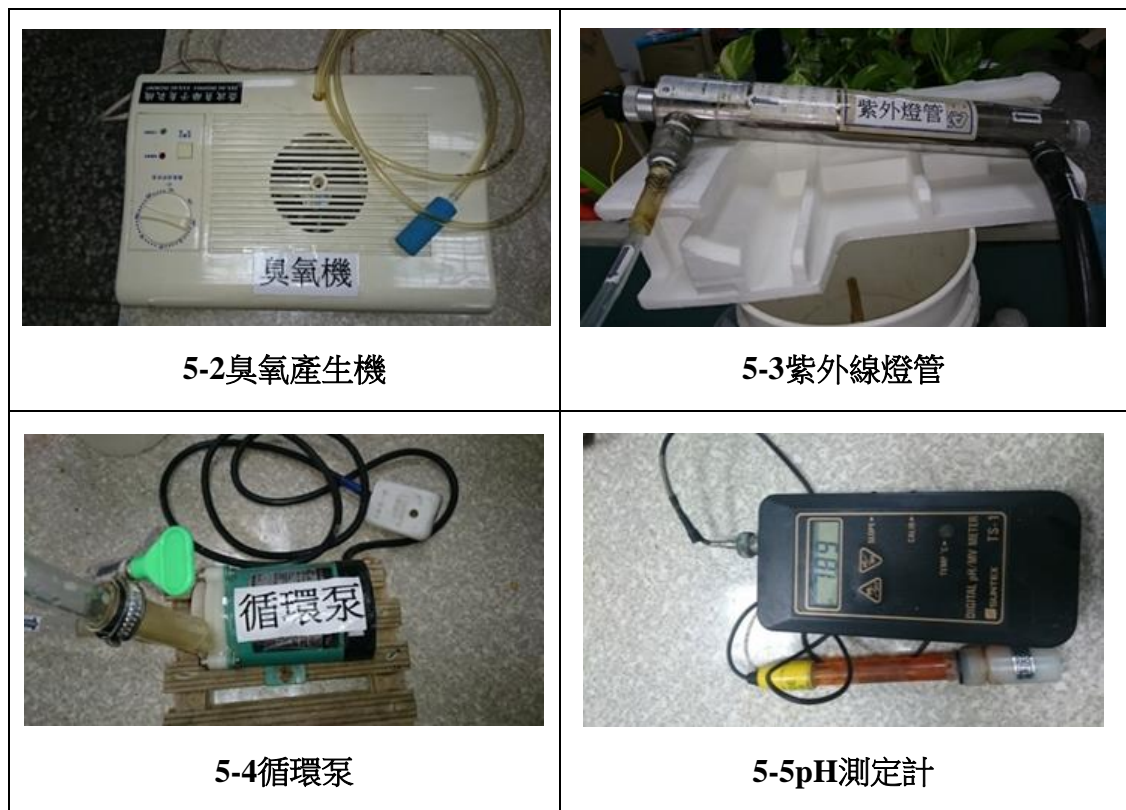


圖 5 模組設備製作過程

(四)：Fenton 法汗水處理實驗步驟

1.我們將實驗流程設計成以下順序:

- (1)取染整廠沉澱池出流水 5 公升注入反應槽中取樣測定 pH 值、COD、與色度
- (2)以稀硫酸調整 pH 值到 3.5~4，並加入定量 H₂O₂ 和 FeSO₄
- (3)啟動 UV 燈、臭氧機、循環泵進行反應，每 5 分鐘取樣一次，共 6 次
- (4)運行 30 分鐘後觀察色度變化並照相記錄，樣品酸鹼中和後做化學混凝並取上澄液，將樣品送驗檢測 pH 值、COD、色度並進行數值比較

2.我們共設計了五組實驗:

A 實驗: UV 加 O₃

B 實驗: UV 加 O₃ 加 300ppm H₂O₂

C 實驗: UV 加 O₃ 加 FeSO₄ 與 300ppm H₂O₂

D 實驗: O₃ 加 150ppm H₂O₂

E 實驗: UV 加 O₃ 加 150ppm H₂O₂

(五)：第二代實驗儀器，新式 O₃ 浮除處理製成設計

第二代儀器，我們添加了臭氧浮除系統。新式 O₃ 浮除系統，其操作原理主要由廢水槽抽水後，經由加壓泵浦混合 O₃ 進入溶解槽，加壓至 4kg/cm²，釋放進入浮除槽後即產生大量乳化氣泡(奈米級)，藉由 UV 燈他配，形成光分藤(Fenton 法)效應，產生 (·OH)達到氧化附著、捕捉、吸附水中懸浮物質，達到上浮、去除雜物功能。

1. 結構主體設計：

主體以保特水瓶1個(5000 mL)加工組合，主要設計包含臭氧回收室、浮除槽、迴流加壓管、處理水出口。

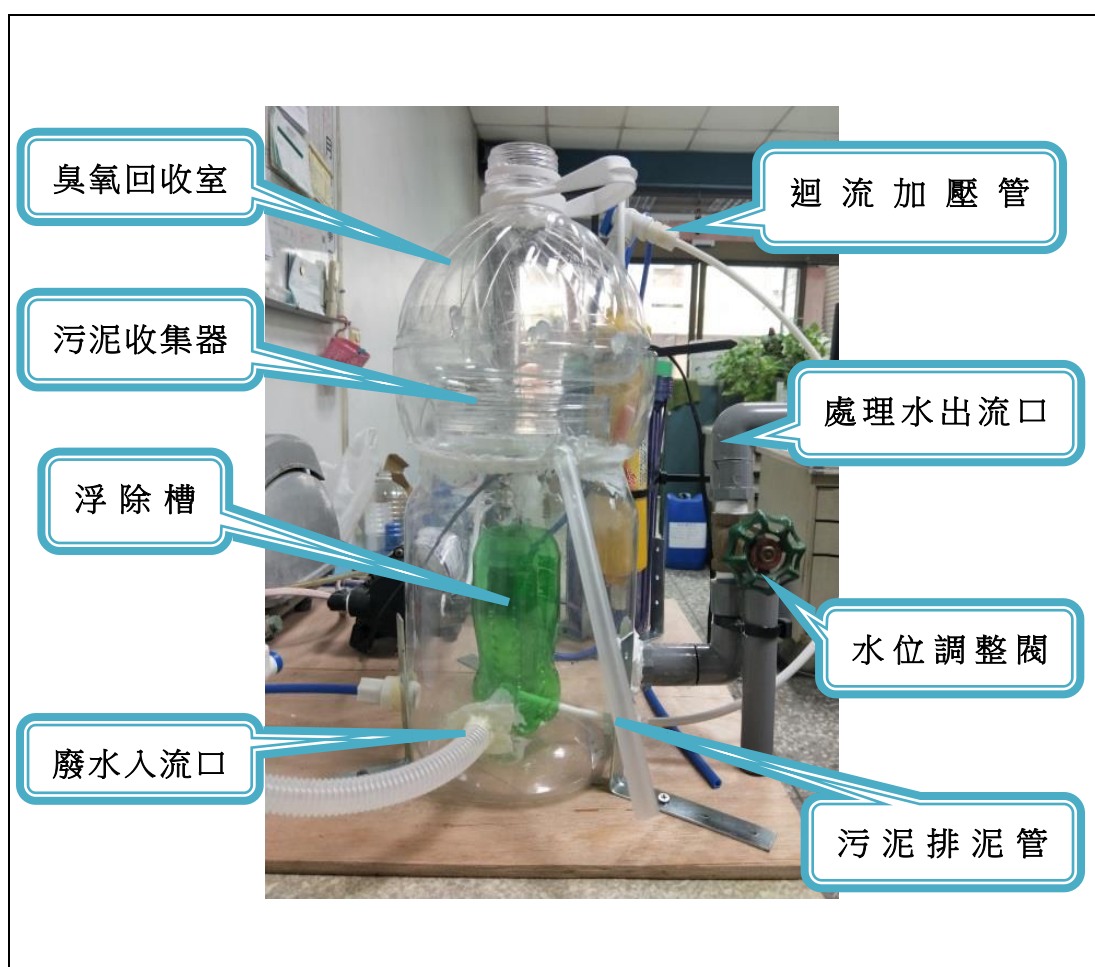


圖 6. 浮除結構主體設計

2. 各結構細部分析：







<p>以綠色寶特瓶(600ML)加工製成，主要置於主體內部，集中乳膠奈米氣泡吸附之微粒物質，透過上浮作用流入污泥收集器。</p> 	<p>使用螺紋行彎管作為廢水管經快混槽攪拌後之廢水，由主體結構底部流入浮除槽內。</p> 
<p>7-1浮除槽</p>	<p>7-2廢水流入口</p>
<p>廢水流入主體後，上浮速度與水位高度控制，影響最後浮除的效果，因此設計水位調整閥，調整所需的速度與高度。</p> 	<p>當浮除處理過後之河口污水，經水位調整閥將污水透過處理水流口，流出後匯入中繼槽。</p> 
<p>7-3水位調整閥</p>	<p>7-4處理水流口</p>
<p>本研究自行設計污泥回收器，主要是利用乳膠奈米器泡，調整廢水進流量讓污泥，溢出浮除主體，流入污泥收集器，在由污泥排泥管流出。</p> 	<p>本研究利用臭氧當壓力浮除氣體，為避免浮除過後臭氧逸散到大氣中，在污泥收集室加入一個上蓋做臭氧回收室。</p> 
<p>7-5污泥收集器與污泥排泥管</p>	<p>7-6臭氧回收室</p>

圖 7. 各結構細部分析

本研究自製臭氧吸入器，利用加壓泵並配合加壓桶與臭氧溶解槽，將臭氧打入溶解槽中，並加壓形成乳膠狀奈米氣泡，之後導入慢混池，再配合紫外線殺菌，產生 ($\cdot\text{OH}$)，再經由乳膠狀奈米氣泡吸附微粒與有機物質，再通過浮除方式淨化水質。

<p>銜接臭氧製造機的氣閥，主要調節臭氧氣體進入浮除槽的功能，可控制臭氧的流量大小。</p>		<p>本研究利用回收濾水器之加壓馬達，改製成實驗加壓泵，將管徑中臭氧加壓到適合之實驗壓力。</p>	
<p>8-1 臭氧吸入器</p>	<p>8-2 加壓泵</p>		
<p>本實驗浮除氣體為臭氧，需經加壓桶進行加壓後，再高壓打入盛滿水之臭氧溶解槽(利用回收濾水壓力克力過濾瓶製作)。</p>		<p>本研究於浮除槽內置入紫外線殺菌燈，將經過臭氧殺菌脫色的河口污水，再次殺菌一次，以確保水質的潔淨度。</p>	
<p>8-3 加壓桶與臭氧溶解槽</p>	<p>8-4 紫外線殺菌燈</p>		
			

圖8.脫色殺菌設計細部分析

(六)：第二代實驗相關設定

1. 水量：約 6 公升/次
2. 實驗時間：30 分鐘，每 5 分鐘取樣 1 次
3. 實驗設計：

(1) 不添加任何物質，使用純空氣進行浮除	(4) 第一代實驗 C，並擴充浮除系統
(2) 第一代實驗 A，並擴充浮除系統	(5) 第一代實驗 D，並擴充浮除系統
(3) 第一代實驗 B，並擴充浮除系統	(6) 第一代實驗 E，並擴充浮除系統

伍、研究結果

一、可行性實驗項次、體積、停留時間、pH 值、COD、色度如下表所示：

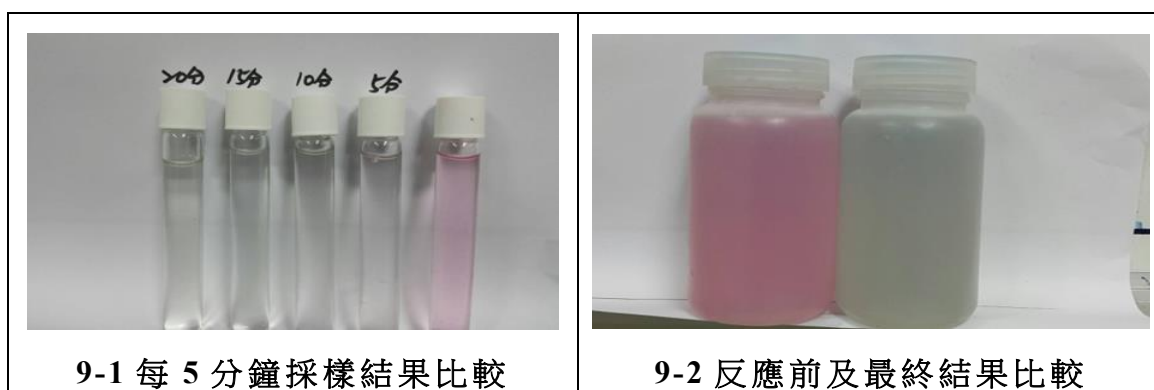


圖 9 實驗過程

表 4 .H₂O₂ 添加量 300ppm 實驗

項次	實驗	體積 公升	操作 時間分	pH 值	COD ppm	真色度 ADMI 值
1		6	0	6.81	95	589
2		6	5	6.52	88	493
3		6	10	6.51	82	405
4		6	15	6.50	76	315
5		6	20	6.49	72	256
6	化學混凝後		20	7.12	65	185

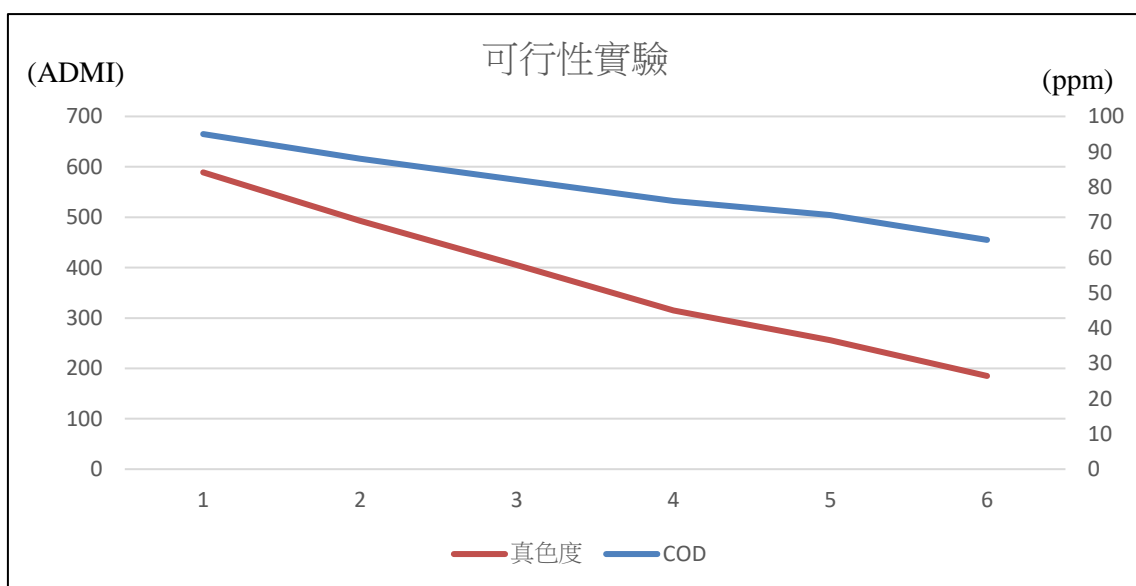


圖 10. 可行性實驗 COD、色度折線圖

二、本研究第一代實驗項次、體積、停留時間、pH 值、COD、色度如下表所示：

表 5. UV/O₃ 添加 300ppm 實驗平均數據

項次	實驗 A UV/O ₃	體積 公升	操作 時間分	pH 值	COD ppm	真色度 ADMI 值
1	原水			7.79	258	1287
2		6	5	3.59	201	691
3		6	10	3.58	189	404
4		6	15	3.52	173	213
5		6	20	3.63	177	127
6		6	25	3.59	159	77
7		6	30	3.56	140	57
8	化學混凝後				72	56

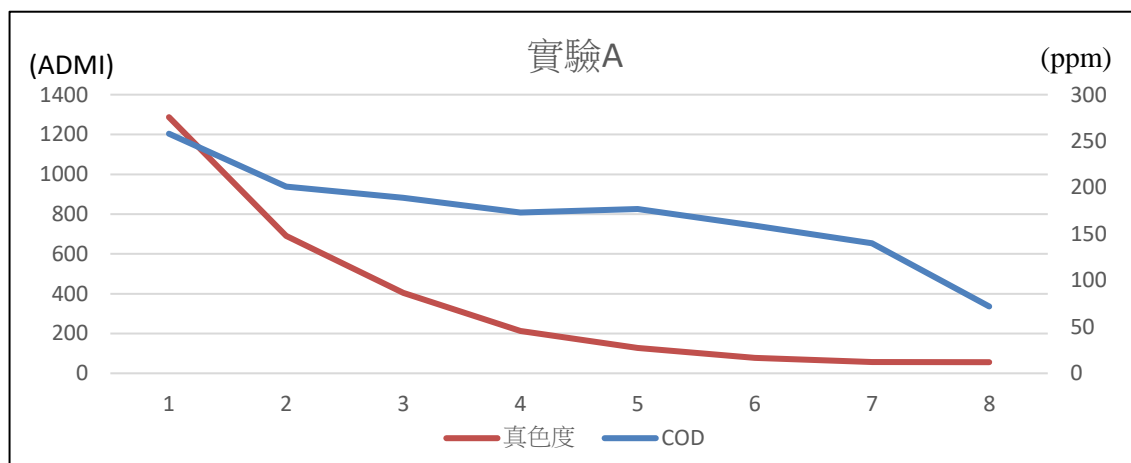


圖 11. 實驗 A COD、色度折線圖



圖 12. O₃/UV 實驗結果比較

表 6. UV/O₃+H₂O₂ 添加 300ppm 實驗平均數據

項次	實驗 B UV/O ₃ +H ₂ O ₂	體積 公升	操作 時間分	pH值	COD ppm	真色度 ADMI 值
1	原水			7.79	258	1287
2		6	5	3.98	266	268
3		6	10	3.95	227	131
4		6	15	3.75	213	73
5		6	20	3.79	239	66
6		6	25	3.87	196	54
7		6	30	3.93	183	50
8	化學混凝後			6.63	128	56

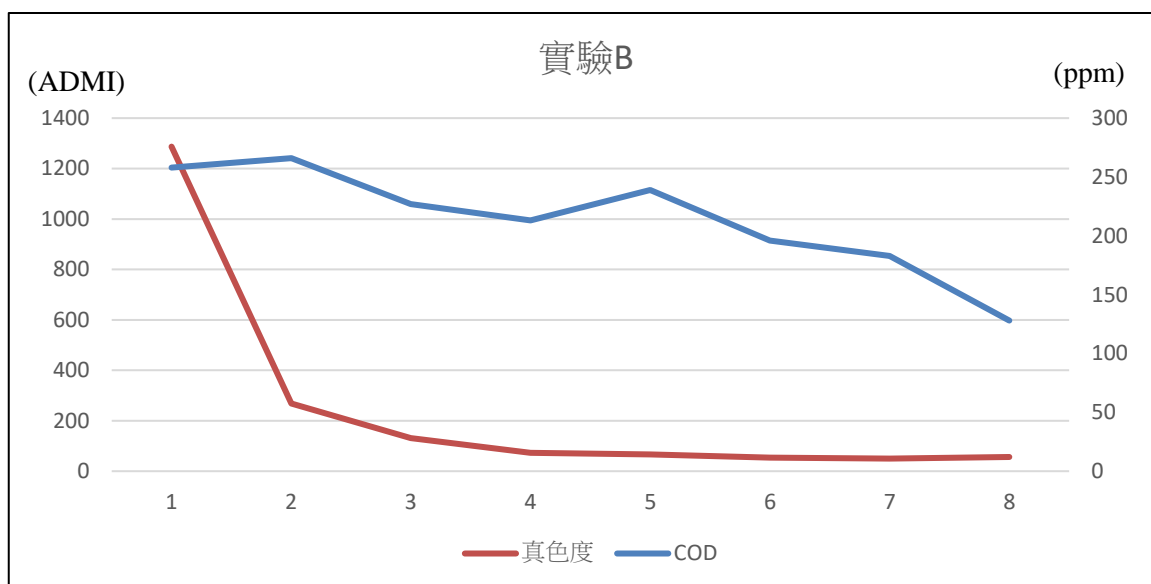


圖 13. 實驗 B COD、色度折線圖



圖 14. O₃/UV+H₂O₂ 實驗結果比較

表 7. UV/O₃+H₂O₂+FeSO₄ 添加 300ppm 實驗平均數據

項次	實驗 C UV/O ₃ +H ₂ O ₂ +FeSO ₄	體積 公升	操作 時間分	pH 值	COD ppm	真色度 ADMI 值
1	原水			7.79	258	1287
2		6	5	2.67	50	59
3		6	10	2.66	43	59
4		6	15	2.67	45	49
5		6	20	2.69	43	47
6		6	25	2.67	53	49
7		6	30	2.69	48	59
8	化學混凝後			6.65	42	21

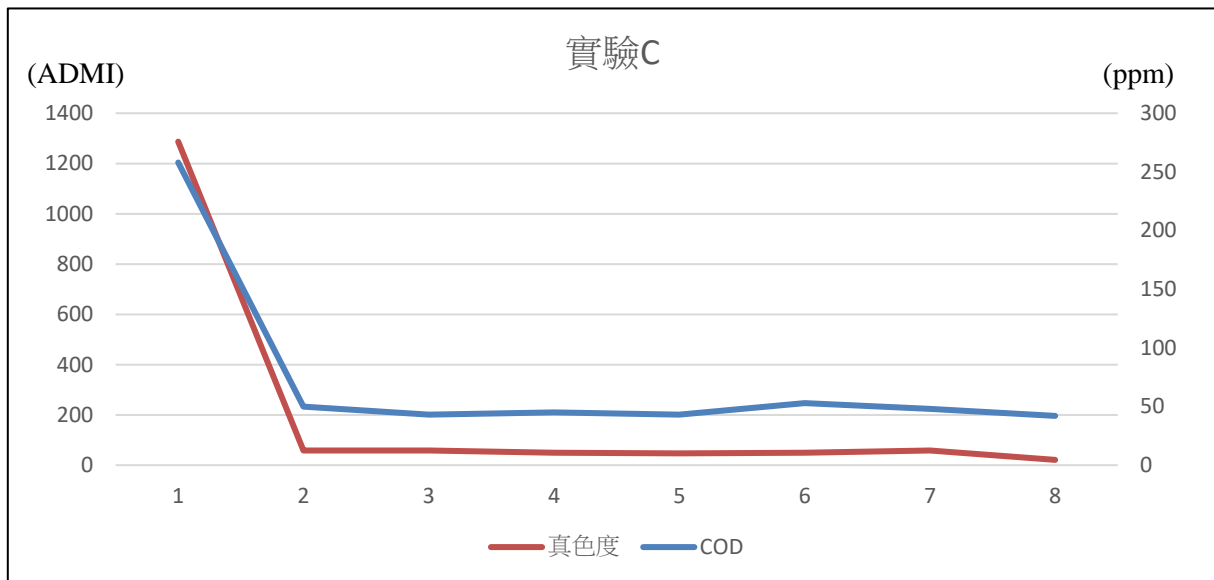


圖 18. 實驗 C COD、色度折線圖



圖 19. O₃/UV+H₂O₂+FeSO₄ 實驗結果比較

表 8.O₃+H₂O₂ 150ppm 實驗平均數據

項次	實驗 D O ₃ + H ₂ O ₂ 150ppm	體積 公升	操作 時間分	pH值	COD ppm	真色度 ADMI值
1	原水			7.79	258	1287
2		6	5	3.79	216	386
3		6	10	3.78	213	274
4		6	15	3.77	190	120
5		6	20	3.94	166	82
6		6	25	3.82	161	59
7		6	30	3.73	157	41
8	化學混凝後			6.62	104	40

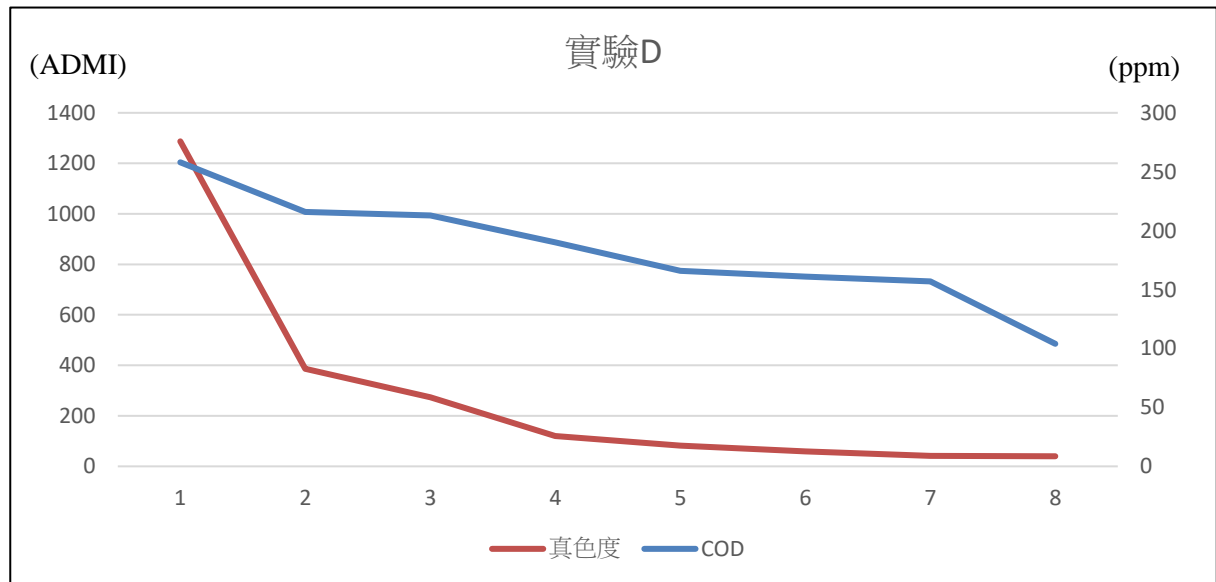


圖 20. 實驗 D COD、色度折線圖



圖 22. O₃+H₂O₂ 150ppm 實驗結果比較

表 9. UV/O₃+H₂O₂ 150ppm 實驗平均數據

項次	實驗 E UV/O ₃ +H ₂ O ₂ 150ppm	體積 公升	操作 時間分	pH值	COD ppm	真色度 ADMI值
1	原水			7.79	258	1287
2		6	5	3.99	246	426
3		6	10	4.19	208	227
4		6	15	4.20	179	124
5		6	20	4.61	178	95
6		6	25	4.62	171	53
7		6	30	4.6	153	50
8	化學混凝後			6.65	92	72

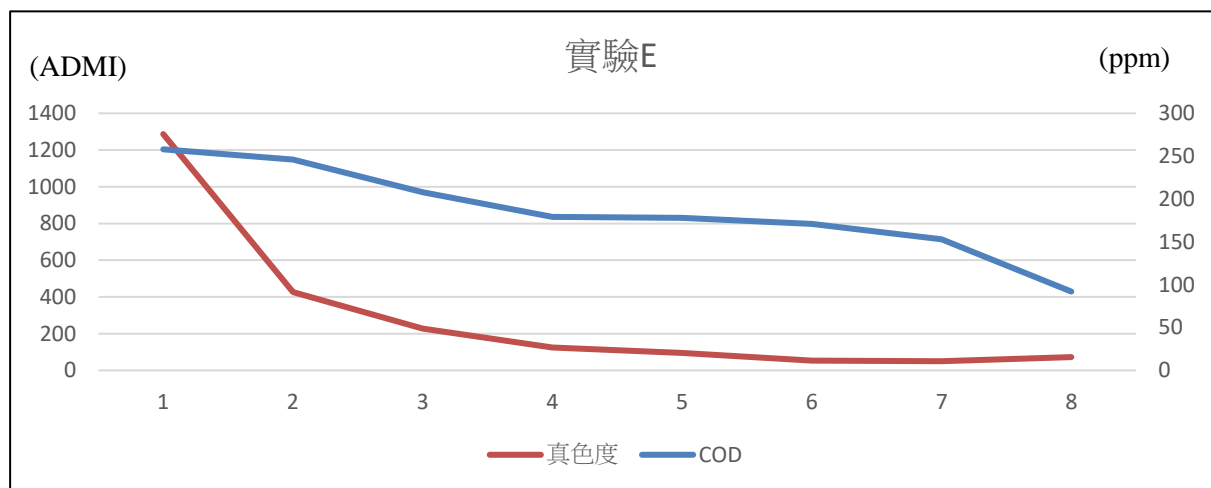


圖 24. 實驗 E COD、色度折線圖



圖 25. O₃+UV+H₂O₂ 150ppm 實驗結果比較

三、本研究第二代實驗平均數據：

表 10-1.空氣浮除與 UV/O₃ 去除 COD 結果比較

	原水 SS	空氣浮除 SS	去除率	實驗 A	去除率	實驗 B	去除率
1	92	16	82.61%	13	85.87%	8	91.30%
2	48	14	70.83%	12	75.00%	7	85.42%
3	51	15	70.59%	12	76.47%	7	86.27%
4	62	16	74.19%	11	82.26%	8	87.10%
5	86	13	84.88%	11	87.21%	5	94.19%
平均	67.8	14.8	76.62%	11.8	81.36%	7	88.86%

表 10-2.空氣浮除與 UV/O₃ 去除 COD 結果比較

	實驗 C	去除率	實驗 D	去除率	實驗 E	去除率
1	6	93.48%	5	94.57%	6	93.48%
2	1	97.92%	4	91.67%	4	91.67%
3	4	92.16%	5	90.20%	6	88.24%
4	2	96.77%	6	90.32%	5	91.94%
5	3	96.51%	2	97.67%	7	91.86%
平均	3.2	95.37%	4.4	92.88%	5.6	91.44%

表 11-1.空氣浮除與 UV/O₃ 去除色度結果

	原水 COD	空氣浮除 COD	去除率	實驗 A	去除率	實驗 B	去除率
1	192	163	15.10%	105	45.31%	102	46.88%
2	213	172	19.25%	109	48.83%	114	46.48%
3	193	149	22.80%	98	49.22%	95	50.78%
4	208	167	19.71%	106	49.04%	89	57.21%
5	196	151	22.96%	98	50.00%	108	44.90%
平均	200.4	160.4	19.96%	103.2	48.48%	101.6	49.25%

表 11-2.空氣浮除與 UV/O₃ 去除色度結果

	實驗 C	去除率	實驗 D	去除率	實驗 E	去除率
1	38	80.21%	94	51.04%	85	55.73%
2	22	89.67%	88	58.69%	78	63.38%
3	25	87.05%	92	52.33%	65	66.32%
4	35	83.17%	96	53.85%	73	64.90%
5	33	83.16%	82	58.16%	75	61.73%
平均	30.6	84.65%	90.4	54.81%	75.2	62.41%

表 12-1.空氣浮除與 UV/O₃ 去除 SS 結果比較

	原水色度	空氣浮除色度	去除率	實驗 A	去除率	實驗 B	去除率
1	215	172	20.00%	132	38.60%	117	45.58%
2	234	182	22.22%	141	39.74%	128	45.30%
3	179	141	21.23%	109	39.11%	106	40.78%
4	204	160	21.57%	124	39.22%	112	45.10%
5	176	132	25.00%	103	41.48%	98	44.32%
平均	201.6	157.4	22.00%	121.8	39.63%	112.2	44.22%

表 12-2.空氣浮除與 UV/O₃ 去除 SS 結果比較

	實驗 C	去除率	實驗 D	去除率	實驗 E	去除率
1	13	93.95%	42	80.47%	66	69.30%
2	20	91.45%	35	85.04%	58	75.21%
3	21	88.27%	26	85.47%	69	61.45%
4	15	92.65%	31	84.80%	52	74.51%
5	16	90.91%	39	77.84%	55	68.75%
平均	17	91.45%	34.6	82.73%	60	69.85%

陸、研究結果討論

一、可行性功能評估測試結果

- (一) 取斗六某印染廠經生物處理後出流水，進行可行性功能評估，若實驗結果可行再作後續實驗，若不可行再另行取它廠廢水進行測試。
- (二) 經採實驗測試後，以目視可以觀察到廢水經加少量的酸，及300ppm的雙氧水，經臭氧及紫外線燈管系統後顏色明顯去除。
- (三) 經採實驗測試後再經化學處理後，將廢水內的懸浮固體物以化學處理後去除，結果透視度明顯增加色度也明顯下降，可見實驗可行性高將進行下一階段進行研究比較。

二、可行性功能評估測試討論

- (一) 可行性功能評估測試結果討論取斗六某印染廠經生物處理後出流水pH為6.81，先加稀硫酸調整pH值到6.52，當通入臭氧進入紫外線燈管系統時，pH值明顯隨反應時間增加而下降趨勢，經20分鐘反應後pH值下降到6.49，以高級氧化最佳控制範圍為3-2之間，雖然pH值控制偏中性但顏色可以變淡也是一項節省酸鹼的方法。
- (二) 實驗中以每5分鐘取樣一次經檢驗後，廢水COD從95ppm下降到72ppm去除率高達24.2%，經化學混凝去除懸浮物後COD值為65ppm除率高達31.5%。
- (三) 原廢水經取樣分析色度為589 ADMI值，以每5分鐘取樣一次測期色度，發現色度從589 ADMI值經20分鐘後色度為256ADMI值去除率為56.5%，處理後廢水再經化學處理後色度為185ADMI值除率為68.5%效果良好。

三、經可行性功能評估測試結果可行後取廢水以實驗各種進行比對測試

- (一) 取斗六某印染廠的廢水，並加稀硫酸調整 pH 值，通入臭氧進入紫外線燈管時進行討論，pH 值在反應前後實驗 A、B、C、D 組皆無明顯變化，只有 E 組有上升的趨

勢現象。

(二) 以 COD 下降趨勢，COD 隨反應時間增加，反應經 30 分鐘後的結果進行討論，實驗 A、C 組最後有達放流水標準，其 COD 去除率混凝前為 45%與 81.3%，混凝後為 72%與 83.7%，而實驗 B、D、E 組皆沒有達到放流水標準，COD 去除率混凝前為 29%、39.1%、40.6%，混凝後為 50%、59.6%、64.3%。

(三) 將廢水色度檢測後記錄，並討論各組在反應30分鐘後其色度的去除率，五組全部皆有通過放流水的色度標準，其色度去除率化學處理前為95.5%、96.1%、95.4%、96.8%、96.1%，化學處理後為95.6%、95.6%、98.3%、96.8%、94.4%。

四、加壓浮除系統結果討論

(一) 以 COD 下降趨勢，COD 隨反應時間增加，反應經 30 分鐘後的結果進行討論，空氣浮除、實驗 A、B、C、D、E 的 COD 去除率分別為 76.62%、81.36%、84.70%、88.86%、95.37%。

(二) 將廢水色度檢測後記錄，並討論各組在反應30分鐘後其色度的去除率，六組全部皆有通過放流水的色度標準，其最終最低色度值分別為132、103、98、13、26、52。

(三) 懸浮物質SS在經過30分鐘後皆低於排放標準，最低值分別為13、11、5、1、2、4。

(四) 經過整理後可以發現，新增浮除系統並結合原實驗，效果相當的好。

五、臭氧加UV結果討論

(一) 本實驗以O₃、H₂O與UV結合後會產生(HO·)自由基，(HO·)除污效果極強，生命週期短，不易殘留，此法屬於Fenton Like (異相反應)法，其反應式如下所示：



(二) 傳統Fenton法需添加Fe²⁺與H₂O₂，不但須加Fe²⁺增加成本，而且添加過多H₂O₂會導致假性COD。其反應式為：



柒、討論

一、可行性功能評估測試結果討論

- (一) 從本次可行性功能評估發現，以斗六某廠的印染廢水進行測試得到色度去除率有68.5%，COD除率高達31.5%，顯示臭氧系統結合UV燈組，可有效去除色度並符合放流水排放標準。
- (二) 以COD除率達31.5%雖然去除率不及色度去除率，但是該本種處理方法不具有鐵污泥，以操作成本及友善環境層面是較好的選擇方式。



圖 27.鐵污泥殘餘現況

鐵汙泥： $\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow$

- (三) 臭氧本來就具有強力的去色效果，本實驗增加雙氧水及紫外燈組將增加產生羥基自由基 ($\cdot\text{OH}$) 機制，能有效針對色度去除，系統若能將pH為3.0達到高級氧化操作環境COD除率可能會增加本次可行性功能評估只在做定性測試，將來將作與亞鐵參與反應的比較及實驗。

一般氧化劑氧化力之比較表

氧化劑	相對於氯之 氧化力
氯	2.23
氫氧自由基	2.06
臭氧	1.55
過氧化氫	1.31
過錳酸根	1.24
二氧化氯	1.15
次氯酸	1.10
氯	1.00

二、實驗測試結果討論

(一) 色度去除討論:

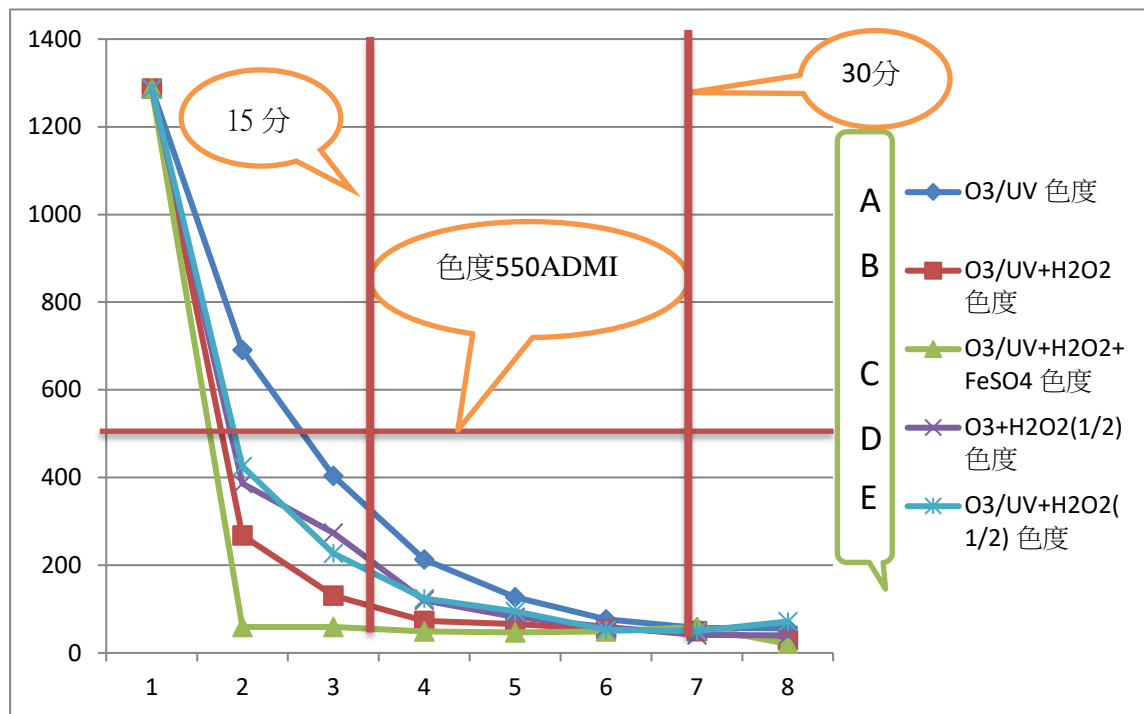


圖 28.各項實驗色度折線圖

- 由上圖表顯示5種實驗對色度的去除，在反應30分鐘後都非常有效，此5種實驗方法最終都可以達到色度放流水標準550DMI值以下。
- 以操作15分鐘做為比對反應速率實驗C>實驗B>實驗E>實驗D>實驗A。
- 從由上圖表顯示實驗中H₂O₂添加量越多色度去除率越高，實驗B及實驗C H₂O₂添加量為300 ppm，實驗D及實驗E H₂O₂添加量為150 ppm，實驗C>實驗B>實驗E>實驗D>實驗A。
- 從由上圖表顯示實驗中實驗C有加亞鐵當還原劑時，反應速率及去色能力最佳。
- 以同樣的方法實驗，實驗BH₂O₂添加量300 ppm實驗E H₂O₂添加量150 ppm，兩組進行比較發現在開啟臭氧及UV燈管時H₂O₂添加量越高色度去除效率越高。

(二)COD去除討論:

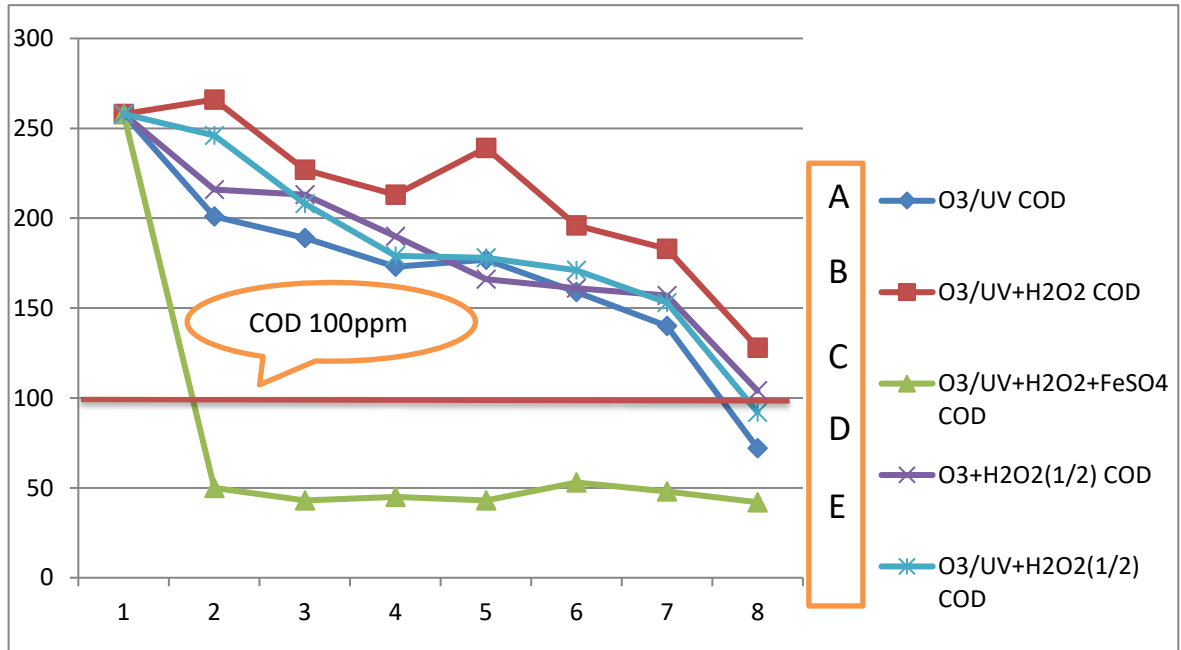


圖 29.各項實驗 COD 折線圖

- A. 由上圖表顯示5種實驗對COD的去除，在反應30分鐘後都只有實驗A、實驗C、實驗E對COD有效去除達到COD放流水標準100 ppm值以下，其中實驗C最終反應30分鐘後COD值可以在50 ppm以下。
- B. 以操作30分鐘做為比對反應速率：實驗C>實驗A>實驗E>實驗D>實驗B。
- C. 從上圖表顯示實驗中除了實驗C 有添加還原劑除外，其他各組實驗H₂O₂添加量越多COD去除率越低，判斷可能原因為H₂O₂添加量過量造成假性COD。
- D. 從下圖表顯示實驗中除了實驗B H₂O₂添加量為300 ppm，
- E. 實驗E H₂O₂添加量為150 ppm，以相同的實驗方法至最終反應時H₂O₂添加量150 ppm COD去除率>H₂O₂添加量300 ppm COD去除率。
- F. 從上圖若比對實驗A與實驗B及實驗E在有UV環境下，實驗A未添加H₂O₂，實驗B H₂O₂添加量300 ppm，實驗E H₂O₂添加量150 ppm 比對，發現在實驗A沒有加H₂O₂只有臭氧及UV下操作，COD值可達72 ppm，而其他兩對照組添加H₂O₂及臭氧及

UV下操作，實驗B COD值可達128 ppm，實驗E COD值可達92 ppm，可能是H₂O₂添加過量，造成實驗B COD值偏高操過放流標準。

捌、結論

- 一、在我們所設計的實驗中，雖然反應速率有所差別，但在反應30分鐘後色度都能有效去除達到色度放流水標準450ADMI值以下，其中在添加硫酸亞鐵當還原劑時，效果最佳。
- 二、在未加裝浮除裝置的實驗中，只有A、C組的COD去除率能夠到達放流水標準，也就是只有臭氧及UV的實驗以及還添加H₂O₂和硫酸亞鐵的組別，雖然反應時間有所差別，但最終這兩組COD去除率皆能達到放流水標準，且添加H₂O₂和硫酸亞鐵的組別效果最佳。
- 三、在數據中發現，若沒添加硫酸亞鐵而只添加H₂O₂的話，H₂O₂的添加量越高COD值反而越高，也就是會有假性COD的問題。
- 四、以實驗A及實驗C兩種方法比較，以實驗A操作成本低於實驗C，因為實驗C需要添加硫酸亞鐵當還原劑及H₂O₂，會增加操作成本，而且硫酸亞鐵被氧化後會產生大量的污泥，也會增加污泥處理費用。
- 五、新式加壓浮除法結合臭氧配合紫外燈(Fenton法)的方式，並將加壓的氣體從空氣改為臭氧，能夠更有效的增加水中溶氧量，顯著提升系統處理污水中的有機物、色度、SS的效果。
- 六、本系統處理之廢水主要為紡染廢水，因此比起其他常見之污水方式，其處理色度之能力十分有效，且也能同時處理COD、SS等數值，且處理速度也算快速，而且成本也不高，稱得上是十分方便的系統。

玖、參考資料及其他

- 一. 白蕊，李巧玲，李建強，2010，郝晏，*Fenton 法及類Fenton 法在污水處理方面的研究與應用*，*化工科技*，18(6)：69-73。
- 二. 陳迪，劉丹，劉詠，*Fenton 試劑處理難降解垃圾滲濾液的研究*，2010，35：64-67。
- 三. 謝詠梅，幹雅平，2009，*Fenton 試劑預處理苯乙烯系樹脂中間體廢水的試驗研究*，16：62-64。
- 四. 宋豔華，趙碩偉，2009，許暉，*Fenton 試劑預處理聚酯樹脂廢水的研究*，25：61-64。
- 五. 羅文連，朱健，成一知，紀智慧，池年平，2010，*氣浮-混凝-Fenton 氧化處理垃圾滲濾液動態類比研究*，41：41-45。
- 六. 杜瑛珣，杜瑛娜，傅翔，蘇雅玲，2010，*光-Fenton-生物聯用技術處理難降解廢水研究進展*，39：1343-1349。
- 七. 朱兆連，孫敏，王海玲，張雪英，李愛民，2010，*垃圾滲濾液的Fenton 氧化預處理研究*，*生態環境學報*，19：2484-2488。
- 八. 趙玉軍，2010，*高級氧化技術Fenton 法在污水處理工藝中的現狀及其應用進展*，*天津化工*，24：55-58。
- 九. 劉愛萍，2011，*高級氧化技術在水處理中的研究與展望*，*科技嚮導*，3：92-94。
- 十. 成一知，紀智慧，朱健，池年平，2011，*混凝、紫外光催化氧化法處理垃圾滲濾液的模擬試驗*，*中南林業科技大學學報*，31：86-90。

【評語】 032908

本作品以 Fenton 法為基礎，結合臭氧類氧化法及加壓浮除系統處理紡染污水，並探討真色度、化學含氧量去除率、和懸浮粒子去除率。本研究有系統地蒐集數據與分析，敘述具邏輯性且整體架構清晰明瞭。此外，取得斗六印染廠經生物處理後之流水，以簡易的自製系統，加入臭氧、UV、雙氧水、和浮除等處理，得到不錯的去除色度成效。

摘要

紡織印染行業是工業污水排放大戶，此類污水的特點是有機物濃度高、組分複雜、色度深且多變等，屬難處理工業廢水之一，排入自然水體中將降低水中溶解氧濃度，阻礙光合作用和水體自淨，危害生態環境。因此，印染廢水必須經過生物化學處理以降降低生物需氧量(BOD₅)及生化需氧量(COD)含量，但活性污泥等常規生物處理工藝對於印染廢水中有機物的降解收效甚微，通常在生物處理後搭配化學處理工藝以達到深度淨化的目的。在各類三級化學水處理方法中，本研究以新式Fenton法為基礎(屬高級氧化水處理技術)，因其水力停留時間短、去除效率高，成為處理紡染廢水的主流。

壹、研究動機

媒體上經常報導河川等水體污染現象，例如紀錄片《看見臺灣》中描述了後勁溪受科技業排放廢水影響嚴重，河川被“染”成了五顏六色，令人觸目驚心，凸顯出臺灣環境正受到污染議題的重要性，加之親戚從事環境污染治理相關行業，且對環境議題有著相當濃厚的興趣，與老師討論後，決定以鄰近工廠排放的廢水為研究物件，設計一套高級氧化汙水處理設備，達到改善污水色度的目的，最終實現印染廢水的有效處理和達標排放。



圖1 斗六印染廠紡染廢水實況

貳、研究目的

本研究污水處理方式其研究目的分為下列幾點：

- 一、開發新式經濟實惠去除紡染污水COD與真色度的儀器。
- 二、研究染料有機汙廢水在高級氧化下真色度及COD的去除率。
- 三、探討新式(Fenton)分級法，利用H₂O₂、FeSO₄結合臭氧類氧化法O₃、光催化氧化法UV處理在不同加藥量下的真色度及COD的去除率及反應速率。
- 四、運用加壓浮除系統與原系統結合並處理水中的懸浮物質SS。

參、研究過程與方法

一、研究流程

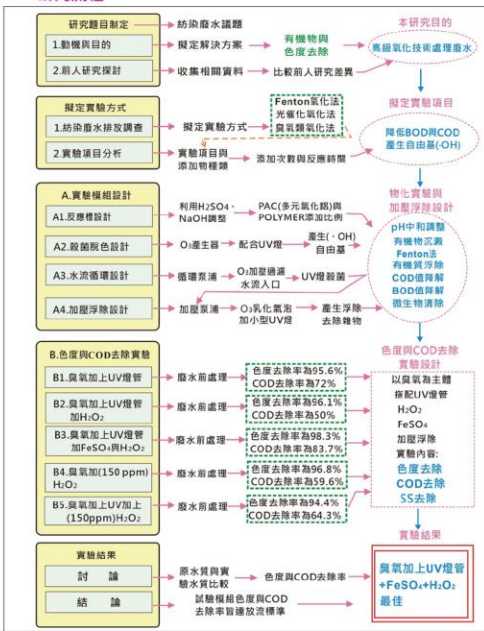


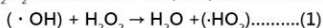
圖2 研究流程圖

Fenton氧化法

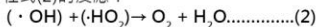
Fenton 試劑的作用原理是在酸性(pH值為2.5~3.5)條件下，二價鐵離子(Fe²⁺)和過氧化氫的氧化反應生成(·OH)，(·OH)具有相當強的氧化能力和很高的親電性，其電子親和力高達569.3kJ。據此(·OH)能氧化眾多有機物，發生抽氫反應、親電加成、取代反應和電子轉移反應，進而使有機污染物降解。影響傳統Fenton法操作效能之變數則包含有H₂O₂添加量、pH值、Fe²⁺添加量、反應時間、H₂O₂及Fe²⁺的添加次數及反應溫度。以下分別討論之。

1. H₂O₂添加量

在添加量過低時，無法產生足夠的(·OH)使有機物充分降解，因此可以很明顯地觀察到反應中COD之去除率隨著H₂O₂添加量的增多而增大，當添加量增加到某值時，COD達到最大去除率，再增加H₂O₂的添加量，去除率反而呈下降趨勢，這時由於當體系中有機物的氧化分解反應已經完成，其產物的性質相對穩定，就不再和H₂O₂分解產生的(·OH)發生反應，即(·OH)不會很快被消耗掉，因此，在反應體系中不會促成H₂O₂的繼續分解，從而在處理過的廢水中殘留有大量的H₂O₂，幹擾COD的測定；此外，H₂O₂濃度過高會加強對(·OH)的清除作用如方程式(1)所示：



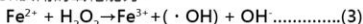
同時發生方程式(2)的反應：



因此造成了H₂O₂的無效分解而導致氧化效率降低。

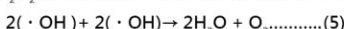
2. pH值

隨著pH由酸轉碱，COD的去除率逐漸降低，換句話說，酸性條件相對鹼性條件處理效果較好，這是因為Fenton 試劑在酸性條件下生成(·OH)，pH值過高或過低對COD的去除都不利；pH值過高時，不僅抑制了(·OH)的產生，而且使溶液中的Fe²⁺以氫氧化物的形式沉澱而失去催化能力，均不利於式(3)向正向進行；反之，pH值過低時，溶液中的H⁺濃度過高，H⁺是(·OH)的淬滅劑，且對於式(4)來說，由於H⁺的濃度增加，使反應向左進行，Fe²⁺的再生受到抑制，(·OH)的生成反應受阻。因此pH的變化直接影響到Fe²⁺-Fe³⁺的絡合平衡體系，從而影響Fenton試劑的氧化能力。



3. Fe²⁺添加量

FeSO₄·7H₂O是Fenton反應的前驅體，一般說來，隨著FeSO₄·7H₂O添加量的增多，反應的COD去除率增大，這是由於當Fe²⁺濃度很低時，雙氧水分解的反應速度很慢，產生的(·OH)量少，故其去除率也比較低，當隨著Fe²⁺濃度的增加，反應速度加快，其去除率也會升高；但是當添加量達到一定值後，COD的去除率隨著Fe²⁺濃度的進一步增加呈下降的趨勢，這可能是由於在較高催化劑濃度下，在反應開始時，從H₂O₂中非常迅速地產生大量的(·OH)，單位時間內產生的(·OH)過多，來不及與有機物反應，使未消耗的遊離OH聚集，(·OH)相互反應生成水和氧氣，造成部分H₂O₂發生無效分解，從而使COD的去除率下降。



FeSO₄·7H₂O的濃度除了影響COD去除效果外，也影響氧化的速度，氧化速度隨著FeSO₄·7H₂O的濃度上升而升高，所以在保證COD去除率不變的前提下，適當增大FeSO₄·7H₂O的添加濃度可以減少反應時間，這在工程上有較大意義，可以減少反應器的體積，但同時會增加添加FeSO₄·7H₂O藥劑成本，也增加了後續處理的難度，因此，必須綜合考慮上面各因素決定FeSO₄·7H₂O的最佳添加濃度。

4. Fenton試劑的反應

從Fenton試劑的反應機理和實驗結果可以得知，當一次性將大量H₂O₂加入到反應體系，易引起H₂O₂的無效分解，因此，如果能將反應液中的H₂O₂濃度維持在較低的水準，可望減少H₂O₂的無效分解。在實際工程中應盡可能避免一次性將大量H₂O₂加入反應體系中，儘量採用連續添加的方式，把反應體系中H₂O₂濃度控制在較低的水準，減少其無效分解，降低運行成本。

二、實作流程

(一)：第一代實驗儀器，Fenton法汙水處理設備製程設計

本研究將設備設計分成三個方面：

- (1)硬體設備包含臭氧機、UV燈、循環泵、pH計、反應槽。
- (2)藥品有雙氧水、稀硫酸、硫酸亞鐵、液鹼、凝澱劑、助凝劑，及染整廢水處理後流出水。
- (3)檢測儀器委外檢測真色度及COD。

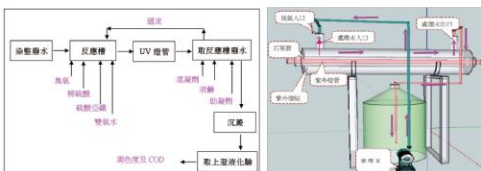


圖3 設備製程分析

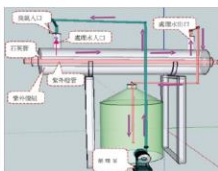


圖4 立體設備詳圖

(二)：進流水水質水量設計

本研究進流水水質設計量如下所示：

表1 進流水水質水量設計

(1)設計水量：	5-6 公升/批
(2) COD：	200-300 PPM
(3)真色度：	500-600 Pt/Cc UNIT

(三)：Fenton法汙水處理模組設計

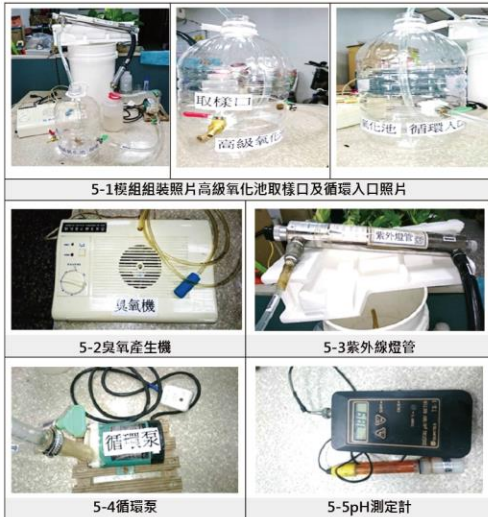


圖5 模組設備製作過程

(四)：Fenton法汙水處理實驗步驟

1. 我們將實驗流程設計成以下順序：

- (1) 取染整廠沉澱池流出水5公升注入反應槽中取樣測定pH值、COD、與色度
- (2) 以稀硫酸調整pH值到3.5~4，並加入定量 H_2O_2 和 $FeSO_4$
- (3) 啟動UV燈、臭氧機、循環泵進行反應，每5分鐘取樣一次，共6次
- (4) 運行30分鐘後觀察色度變化並照相記錄，樣品酸鹼中和後做化學混凝並取上澄液，將樣品送驗檢測pH值、COD、色度並進行數值比較

2. 我們共設計了五組實驗：

- A實驗：UV 加 O_3
- B實驗：UV 加 O_3 加300ppm H_2O_2
- C實驗：UV 加 O_3 加 $FeSO_4$ 與300ppm H_2O_2
- D實驗： O_3 加150ppm H_2O_2
- E實驗：UV 加 O_3 加150ppm H_2O_2

(五)：第二代實驗儀器、新式 O_3 浮除處理製成設計

第二代儀器，我們添加了臭氧浮除系統。新式 O_3 浮除系統，其操作原理主要由廢水槽抽水後，經由加壓泵浦混合 O_3 進入溶解槽，加壓至 $4kg/cm^2$ ，釋放進入浮除槽後即產生大量乳白氣泡(奈米級)，藉由UV燈他配，形成光分蘗(Fenton法)效應，產生 $(\cdot OH)$ 達到氧化附著、捕捉、吸附水中懸浮物質，達到上浮、去除雜物功能。

1. 結構主體設計：

主體以保水水瓶1個(5000mL)加工組合，主要設計包含臭氧回收室、浮除槽、迴流加壓管、處理水出口口。



圖6 浮除結構主體設計

2. 各結構細部分析：

以綠色寶特瓶(600ML)加工製成，主要置於主體內部，集中乳膠奈米氣泡吸附之微粒子，透過上浮作用流入污泥收集器。		使用螺紋行彎管作為廢水管經快混槽攪拌後之廢水，由主體結構底部流入浮除槽內。	
7-1浮除槽		7-2廢水流入口	
廢水流入主體後，上浮速度與水位高度控制，影響最後浮除的效果，因此設計水位調整閥，調整所需的速率與高度。		當浮除處理過後之河口汙水，經水位調整閥將水透過處理水出口口，流出後匯入中繼槽。	
7-3水位調整閥		7-4處理水出口口	
本研究自行設計汙泥回收器，主要是利用乳膠奈米氣泡，調整廢水進流量讓汙泥，溢出浮除主體，流入汙泥收集器，在由汙泥排泥管流出。		本研究利用臭氧當壓力浮除氣體，為避免浮除過後臭氧逸散到大气中，在汙泥收集室加入一個上蓋做臭氣回收室。	
7-5汙泥收集器與汙泥排泥管		7-6臭氣回收室	

圖7 各結構細部分析

本研究自製臭氣吸入器，利用加壓泵並配合加壓桶與臭氧溶解槽，將臭氣打入溶解槽中，並加壓形成乳膠狀奈米氣泡，之後導入慢混池，再配合紫外線殺菌，產生 $(\cdot OH)$ ，再經由乳膠狀奈米氣泡吸附微粒與有機物質，再通過浮除方式淨化水質。

銜接臭氣製造機的气閥，主要調節臭氣氣體進入浮除槽的功能，可控制臭氣的流量大小。		本研究利用回收濾水器之加壓馬達，改製成實驗加壓泵，將管徑中臭氣加壓到適合之實驗壓力。	
8-1臭氣吸入器		8-2加壓泵	

本實驗浮除氣體為臭氣，需經加壓桶進行加壓後，再高壓打入盛滿水之臭氧溶解槽(利用回收濾水壓力)。



本研究於浮除槽內置入紫外線殺菌燈，將經過臭氣殺菌脫色的河口汙水，再次殺菌一次，以確保水質的潔淨度。



8-3加壓桶與臭氧溶解槽

8-4紫外線殺菌燈

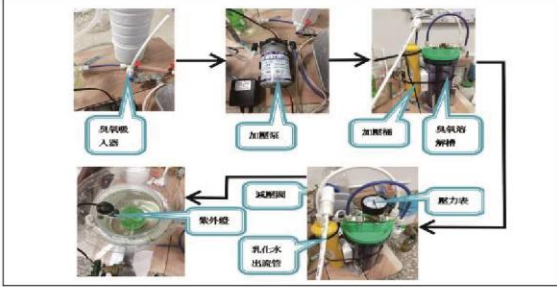


圖8 紫色殺菌設計細部分析

(六)：第二代實驗相關設定

1. 水 量：約6公升/次
2. 實驗時間：30分鐘，每5分鐘取樣1次
3. 實驗設計：

(1) 不添加任何物質，使用純空氣進行浮除	(4) 第一代實驗 C，並擴充浮除系統
(2) 第一代實驗 A，並擴充浮除系統	(5) 第一代實驗 D，並擴充浮除系統
(3) 第一代實驗 B，並擴充浮除系統	(6) 第一代實驗 E，並擴充浮除系統

肆、研究結果

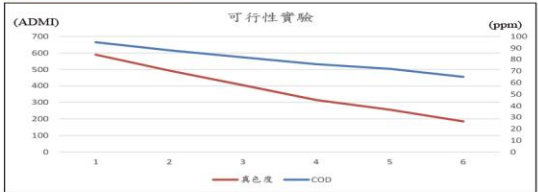


圖9 可行性實驗 COD、色度折線圖

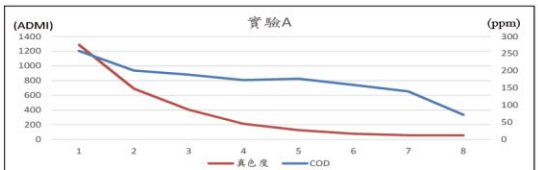


圖10 實驗A COD、色度折線圖

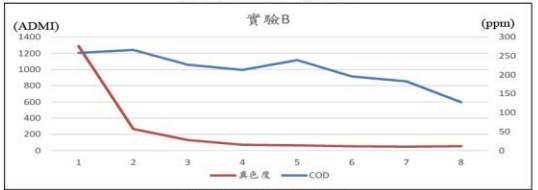


圖11 實驗B COD、色度折線圖

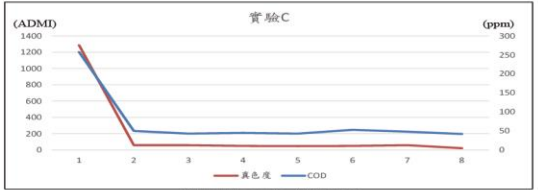


圖12 實驗C COD、色度折線圖

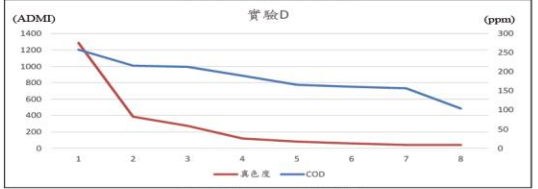


圖13 實驗D COD、色度折線圖

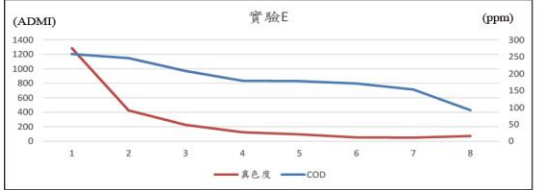
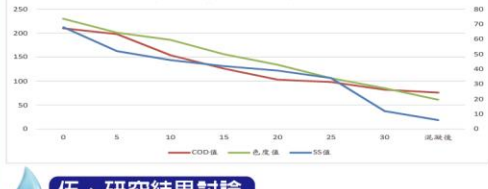
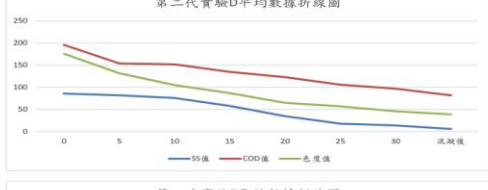
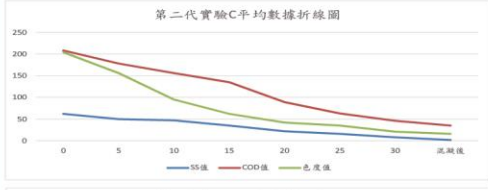
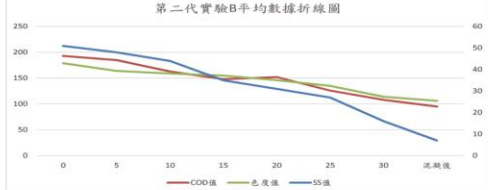
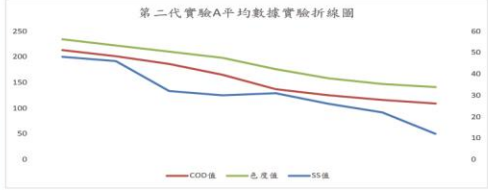
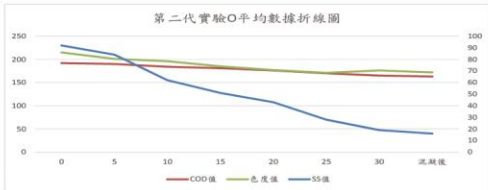


圖14 實驗E COD、色度折線圖



伍、研究結果討論

經可行性功能評估測試結果可行後取廢水以實驗各種進行比對測試

- (一)以COD下降趨勢，COD隨反應時間增加，反應經30分鐘後的结果進行討論，實驗A、C組最後有達放流水標準，其COD去除率混凝前為45%與81.3%，混凝後為72%與83.7%，而實驗B、D、E組皆沒有達到放流水標準，COD去除率混凝前為29%、39.1%、40.6%，混凝後為50%、59.6%、64.3%。
- (二)將廢水色度檢測後記錄，並討論各組在反應30分鐘後其色度的去除率，五組全部皆有通過放流水的色度標準，其色度去除率化學處理前為95.5%、96.1%、95.4%、96.8%、96.1%，化學處理後為95.6%、95.6%、98.3%、96.8%、94.4%。

加壓浮除系統結果討論

- (一)以COD下降趨勢，COD隨反應時間增加，反應經30分鐘後的结果進行討論，空氣浮除、實驗A、B、C、D、E的COD去除率分別為76.62%、81.36%、84.70%、88.86%、95.37%。
- (二)將廢水色度檢測後記錄，並討論各組在反應30分鐘後其色度的去除率，六組全部皆有通過放流水的色度標準，其最終最低色度值分別為132、103、98、13、26、52。
- (三)懸浮物質SS在經過30分鐘後皆低於放流水標準，最低值分別為13、11、5、1、2、4。
- (四)經過整理後可以發現，新增浮除系統並結合原實驗，效果相當的好。

臭氧加UV結果討論

- (一)本實驗以O₃、H₂O與UV結合後會產生(HO·)自由基，(HO·)除污效果極強，生命週期短，不易殘留，此法屬於Fenton Like (異相反應)法，其反應式如下所示：
 - (1) O₃ + H₂O + UV → ·OH + H₂O₂
 - (2) H₂O₂ + UV → 2(·OH)
- (二)傳統Fenton法需添加Fe²⁺與H₂O₂，不但須加Fe²⁺增加成本，而且添加過多H₂O₂會導致假性COD。其反應式為：

$$Fe^{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe^{3+} + OH^- + (\cdot OH)$$

陸、討論

- 一、可行性功能評估測試結果討論
 - (一)從本次可行性功能評估發現，以斗六某廠的印染廢水進行測試得到色度去除率有68.5%，COD去除率高達31.5%，顯示臭

氧系統結合UV燈組，可有效去除色度並符合放流水排放標準。

- (二)以COD去除率達31.5%雖然去除率不及色度去除率，但是該本種處理方法不具有鐵污泥，以操作成本及友善環境層面是較好的選擇方式。



圖15 鐵污泥殘餘現況
鐵污泥: Fe(OH)₃ ↓

二、實驗測試結果討論

(一)色度去除討論：

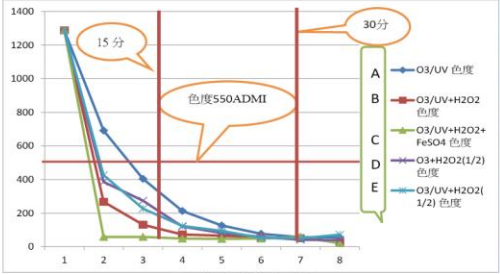


圖16 各項實驗色度折線圖

- 由上圖表顯示5種實驗對色度的去除，在反應30分鐘後都非常有效，此5種實驗方法最終都可以達到色度放流水標準550ADMI值以下。
- 以操作15分鐘做為比對反應速率實驗C>實驗B>實驗E>實驗D>實驗A。
- 從上圖表顯示實驗中H₂O₂添加量越多色度去除率越高，實驗B及實驗C H₂O₂添加量為300 ppm，實驗D及實驗E H₂O₂添加量為150 ppm，實驗C>實驗B>實驗D>實驗A。
- 從上圖表顯示實驗中實驗C有加亞鐵當還原劑時，反應速率及去色能力最佳。
- 以同樣的方法實驗，實驗B H₂O₂添加量300 ppm實驗E H₂O₂添加量150 ppm，兩組進行比較發現在開啟臭氧及UV燈管時H₂O₂添加量越高色度去除率越高。

(二) COD去除討論：

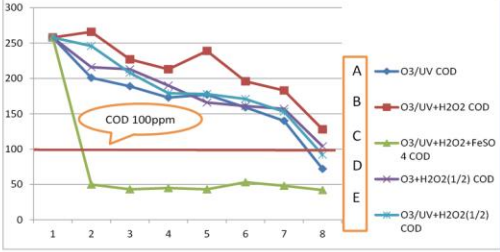


圖17 各項實驗COD折線圖

- 由上圖表顯示5種實驗對COD的去除，在反應30分鐘後都只有實驗A、實驗C、實驗E對COD有效去除達到COD放流水標準100ppm值以下，其中實驗C最終反應30分鐘後COD值可以在50 ppm以下。
- 以操作30分鐘做為比對反應速率：實驗C>實驗A>實驗E>實驗D>實驗B。
- 從上圖表顯示實驗中除了實驗C有添加還原劑外，其他各組實驗H₂O₂添加量越多COD去除率越低，判斷可能原因為H₂O₂添加量過量造成假性COD。
- 從下圖表顯示實驗中除了實驗B H₂O₂添加量為300 ppm，實驗E H₂O₂添加量為150 ppm，以相同的實驗方法至最終反應時H₂O₂添加量150 ppm COD去除率>H₂O₂添加量300 ppm COD去除率。
- 從上圖若比對實驗A與實驗B及實驗E在有UV環境下，實驗A未添加H₂O₂，實驗B H₂O₂添加量300 ppm，實驗E H₂O₂添加量150 ppm 比對，發現在實驗A沒有加H₂O₂只有臭氧及UV下操作，COD值可達72 ppm，而其他兩對照組添加H₂O₂及臭氧及UV下操作，實驗B COD值可達128 ppm，實驗E COD值可達92 ppm，可能是H₂O₂添加過量，造成實驗B COD值偏高操過放流水標準。

柒、結論

- 一、在我們所設計的實驗中，雖然反應速率有所差別，但在反應30分鐘後色度都能有效去除達到色度放流水標準450ADMI值以下，其中在添加硫酸亞鐵當還原劑時，效果最佳。
- 二、在未加裝浮除裝置的實驗中，只有A、C組的COD去除率能夠到達放流水標準，也就是只有臭氧及UV的實驗以及還添加H₂O₂和硫酸亞鐵的組別，雖然反應時間有所差別，但最終這兩組COD去除率皆能達到放流水標準，且添加H₂O₂和硫酸亞鐵的組別效果最佳。
- 三、在數據中發現，若沒添加硫酸亞鐵而只添加H₂O₂的話，H₂O₂的添加量越高COD值反而越高，也就是會有假性COD的問題。
- 四、以實驗A及實驗C兩種方法比較，以實驗A操作成本低於實驗C，因為實驗C需要添加硫酸亞鐵當還原劑及H₂O₂，會增加操作成本，而且硫酸亞鐵被氧化後會產生大量的污泥，也會增加污泥處理費用。
- 五、新式加壓浮除法結合臭氧配合紫外燈(Fenton法)的方式，並將加壓的氣體從空氣改為臭氧，能夠更有效的增加水中溶氧量，顯著提升系統處理污水中的有機物、色度、SS的效果。
- 六、本系統處理之廢水主要為紡染廢水，因此比起其他常見之污水系統，其處理色度之能力十分有效，且也能同時處理COD、SS等數值，且處理速度也算快速，而且成本也不高，稱得上是十分方便的系統。