

臭氧的應用技術-脫色

劉新校* 張陳郎** 唐存宏***

前言

臭氧，為無色且不安定之氣體，其標準氧化還原電位僅次於氟，為強氧化劑一種，在酸性與中性水質環境下會發生高選擇性的直接氧化反應；若在鹼性水質環境下，則會產生更強氧化力及發生選擇性較低之自由基間接氧化反應。色度物質因具發色團或助色團而成色，臭氧氧化則可以破壞色度物質發色團或助色團的鍵結，所以具有脫色效果。尤其對於紡織色彩染料的超強脫色能力，其效果是更加明顯，臭氧可輕易破壞這些染料的發色與助色基團，以達到完整的脫色效果。

廢水色度為一般大眾觀感不佳，嚴重時恐影響水體生態，故行政院環境保護署於 103 年時曾就工業廢水真色色度問題進行相關討論及法規研析，未來可能加嚴放流水管制項目中真色色度管制值，並新增放流水管制項目總餘氯限值，屆時，產業勢必將無法藉由折點加氯法來氧化處理水中色度，而臭氧處理將為產業降低廢水中真色色度可行方案之一。

*萬能科技大學環境工程系 助理教授

**台灣愛米克有限公司 總經理

***台灣產業服務基金會綠色技術發展中心 資深工程師

一、臭氧應用技術

臭氧具有超強的氧化與殺菌能力，目前應用的範圍相當廣泛，例如飲用水、游泳池、冷卻水塔、廢氣的除味、...等等，可是在脫色的應用上卻一直無法普及使用，主要問題如下：

- 1.投資成本高，尤其廢水量大之產業，如紙漿製造業、染整業。
- 2.操作成本高。
- 3.設備的技術不穩定。

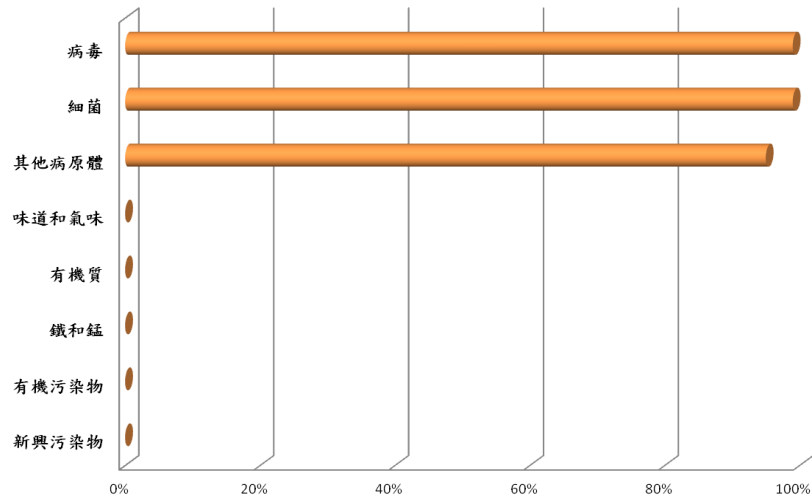
早期以臭氧做脫色處理，對鹼性染料脫色達 90%時，需約 5 分鐘反應時間，若染料濃度較高時，則需 5~10 分鐘，就一個中小型規模的紡織染整廠，其廢水量至少都高達 700~1,000CMD 以上，單利用臭氧設備去除水中色度，初設及操作維護成本與處理效率而論確實甚高。

但隨科技進步，臭氧的應用技術日益提升改良之下，應用的市場亦已逐漸擴大，上述的問題均已慢慢解決。目前，臭氧氧化技術已經演化至所謂的“高級氧化”(Advanced Oxidation Processes)模式，既結合臭氧、紫外線及過氧化氫 3 種成熟的處理技術，並針對不同的水質相互搭配結合出不同的處理技術，其結合模式如下：

- 1.高級氧化
- 2.臭氧/紫外線
- 3.臭氧/過氧化氫
- 4.臭氧/紫外線/過氧化氫

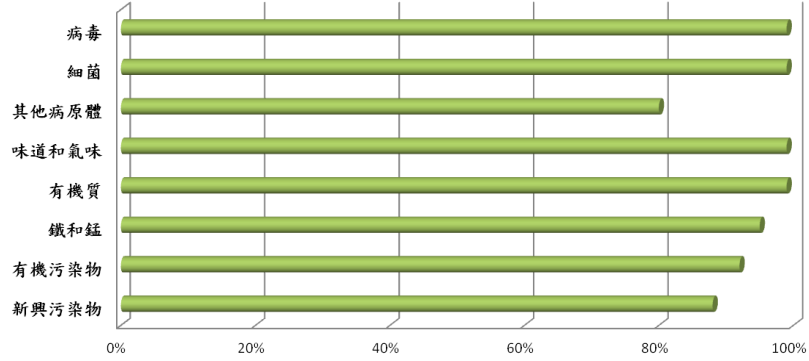
臭氧與上述技術搭配時，可產出“氫氧自由基”為一種超強氧化劑，具比臭氧及過氧化氫更高氧化電位，反應速度至少快 100 萬倍，因此可確保較小的接觸時間與運行成本。前述均透過光/化學反應生成氫氧自由基，再由氫氧自由基氧化污染物質分子，在完整的設計參數與操作控制下，可以有效的將水中有機物完全分解、礦化並脫色，且反應後無殘餘物殘留，更利於工廠執行水資源再利用處理。圖 1 為各氧化處理效能分析比較。

紫外線處理效能



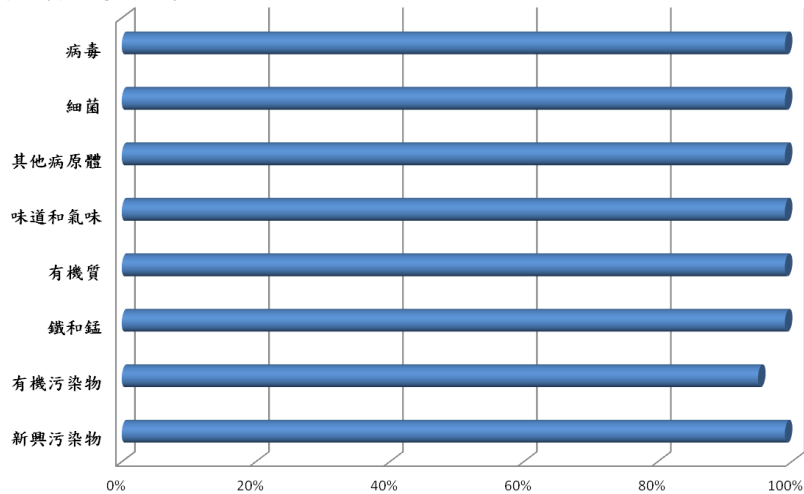
	新興污染物	有機污染物	鐵和錳	有機質	味道和氣味	其他病原體	細菌	病毒
可處理程度	0%	0%	0%	0%	0%	95%	99%	99%

臭氧處理效能



	新興污染物	有機污染物	鐵和錳	有機質	味道和氣味	其他病原體	細菌	病毒
可處理程度	88%	92%	95%	99%	99%	80%	99%	99%

高級氧化處理效率



	新興污染物	有機污染物	鐵和錳	有機質	味道和氣味	其他病原體	細菌	病毒
可處理程度	99%	95%	99%	99%	99%	99%	99%	99%

註：新興污染物為非有機及新製程之污染物

圖 1 各氧化處理效能分析比較圖

二、高級氧化系統基礎設備介紹

以往工廠欲去除水中真色色度時多採用折點加氯法，一般常使用的化學藥劑為次氯酸鈉，唯採用本法時工廠須大量貯存次氯酸鈉藥品，而次氯酸鈉會散發出氯的味道且具有腐蝕性，成為工廠另一工安議題；於使用後，水中餘氯會增加，若廢水中含有機物，則經反應後會產生潛在致癌性化合物-三鹵甲烷，排放至水體環境後，對於水體生態將造成嚴重影響。本高級氧化系統之特點在於將傳統臭氧處理技術與其他氧化技術結合，並提高臭氧產生濃度，大幅提高處理效率，除可有效去除廢水中真色色度外，於操作使用上更加安全、對於環境也更友善。本高級氧化系統相關基礎設備如下：

1. 定量加藥機：使用於過氧化氫添之加藥泵，設備便宜穩定，主要成本只在於過氧化氫的藥劑用量。
2. 紫外線燈：設備便宜且穩定，對於環境無傷害，主要成本在於每使用 8,000 小時後需更換燈管。
3. 臭氧產生機：目前價格只有 10 年前的二分之一，國內目前生產的品質已相當良好，不亞於進口產品，且維護及零件供應亦相當完善，更利於國內工廠使用。在高級氧化系統中只能選用氧氣型機種，另考量絕緣性，則建議放電管需選用不鏽鋼電極搭配石英管較佳，臭氧產生單位濃度相對較高亦較節能。

三、案例介紹

案例對象為是北部某綜合工業區廢水處理廠的脫色實驗結果，本次實驗僅以系統之臭氧產生機進行相關測試，無搭配其他氧化單元，實驗相關介紹說明如下，圖 2 為本臭氧系統安裝情形。



圖 2 臭氧系統安裝情形

(一) 試驗過程

1. 分別取二沉池出水及放流水於不同臭氧量、pH 值下進行臭氧脫色處理實驗。
2. 啟動臭氧產生機，控制氣體流率，開始進行實驗。

3. 固定 pH 值(即不調放流水(或二沉池出水)pH 值)，改變臭氧之劑量(g/hr)對放流水(或二沉池出水)進行氧化反應。在反應時間為 0、15、30、60 與 120 分鐘時，於反應槽採樣口採取水樣 60mL 以分析色度隨反應時間之變化情形。
4. 固定臭氧之劑量(取第 3 步驟中色度去除效果最好之臭氧劑量)，使用硫酸或氫氧化鈉改變放流水(或二沉池出水)之 pH 值對放流水(或二沉池出水)進行氧化反應。在反應時間為 0、15、30、60 與 120 分鐘時，於反應槽採樣口採取水樣 60 mL 以分析色度隨反應時間之變化情形。

(二) 試驗結果

1. 綜合比較固定 pH 條件下，添加不同劑量臭氧：

- (1) 曝氣時間與色度去除率(%)，如圖 3 所示，圖 4 為臭氧曝氣量 21.2 g/hr 之樣品。
- (2) 臭氧加入量(g)與色度去除量，如圖 5 所示。
- (3) 臭氧加入量與色度殘餘量(mgPt/L)，如圖 6 所示。

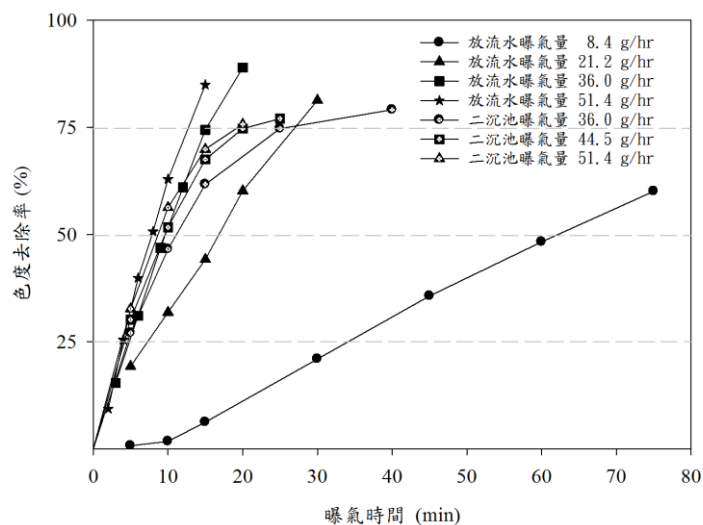


圖 3 曝氣時間與色度去除率(%)之變化

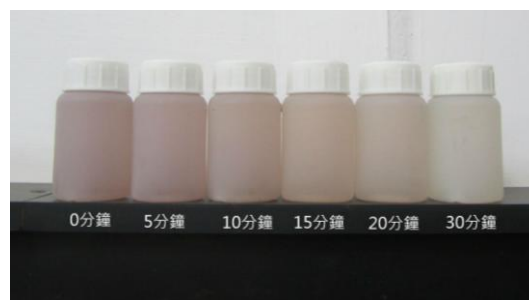


圖 4 臭氧曝氣量 21.2 g/hr 下，色度之變化(原水色度：342 ADMI)

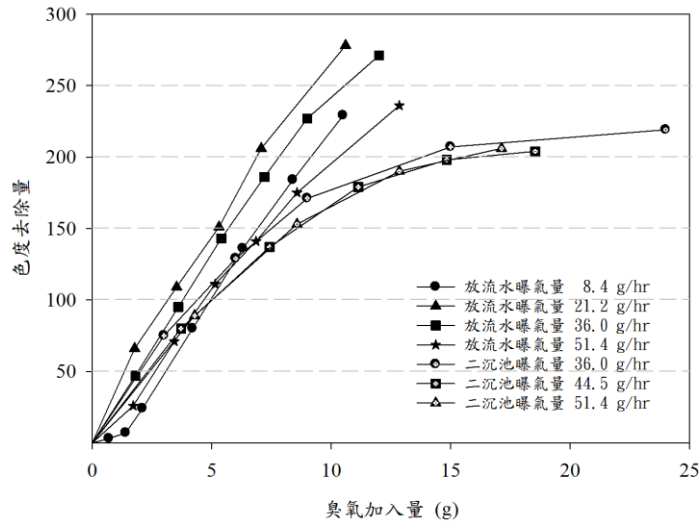


圖 5 色度去除量隨臭氧加入量(g)之變化

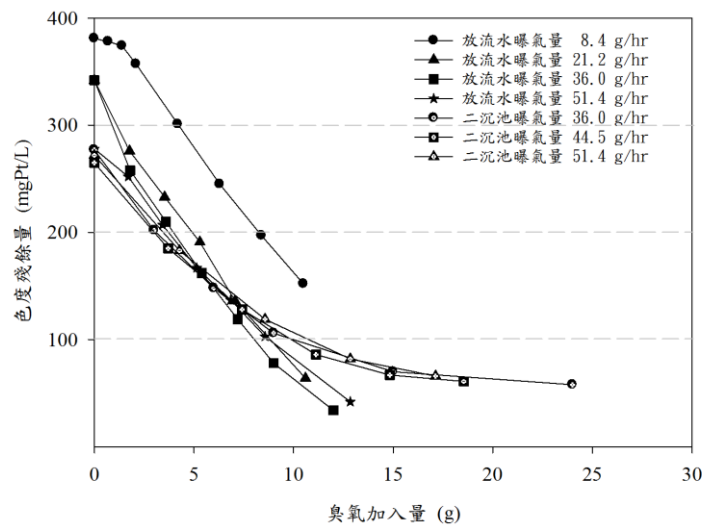


圖 6 臭氧加入量與色度殘餘量

2. 綜合比較固定臭氧劑量(g/hr)，於不同 pH 條件下：

- (1) 曝氣時間與色度去除率(%)，如圖 7 所示。
- (2) 臭氧加入量(g)與色度去除量，如圖 8 所示。
- (3) 臭氧加入量與色度殘餘量(mgPt/L)，如圖 9 所示。

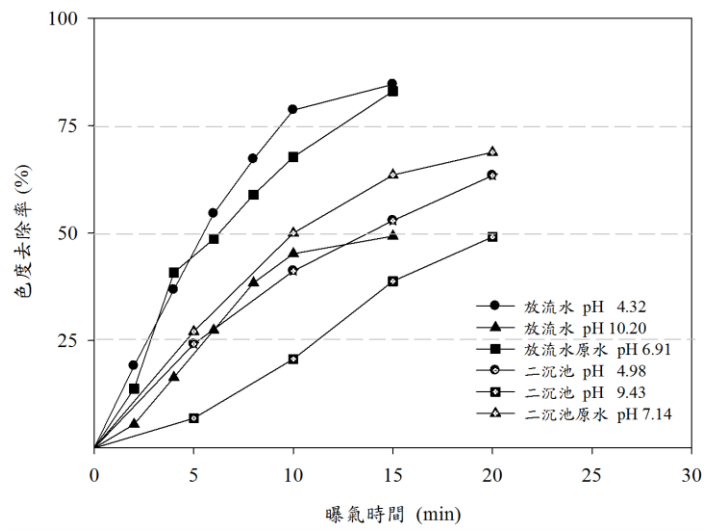


圖 7 曝氣時間與色度去除率(%)之變化

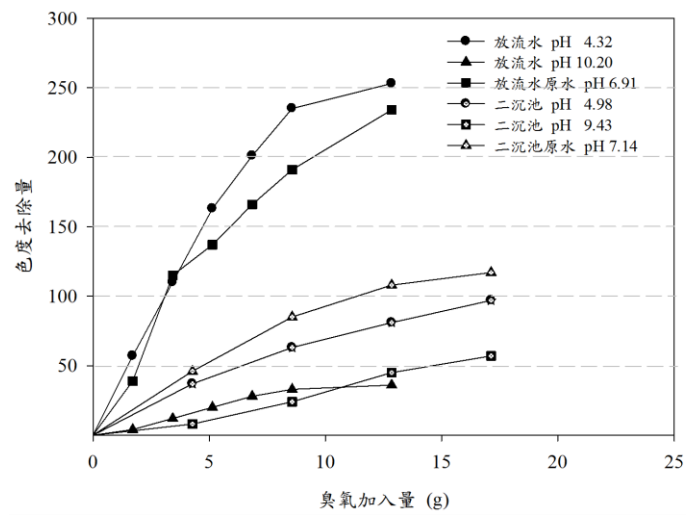


圖 8 臭氧加入量與色度去除量

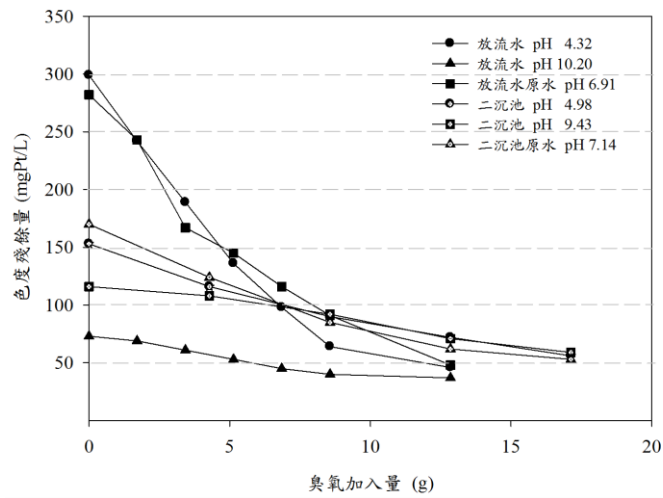


圖 9 臭氧加入量與色度殘餘量

四、結論

依據實驗結果顯示，色度去除率隨臭氧量之增加而增加；在不調整 pH 值及不添加其他氧化劑下，於臭氧量 51.4 g/hr 時，反應 15 分鐘後放流水色度去除率可達 85 %，二沉池出水色度去除率則可達 70 %。在 pH 值偏鹼下，不論是放流水或二沉池出水之色度，大都已大幅下降至 100 ADMI 以下。

依據上述，因本臭氧系統可提高臭氧濃度，工廠若採用臭氧系統處理放流水色度時，可不用調整 pH 值及添加其他氧化劑，即可達到不錯處理效果，且因毋需添加任何藥劑，亦可節省工廠於操作廢水時之成本支出。