

# 光 Fenton 處理法處理設備原理及介紹

## 一、Fenton 處理法介紹

(1) Fenton 處理法目的是製造 [·OH] 氫氧自由基 (不是氫氧離子 OH<sup>-</sup>)。

(2) [·OH] 氫氧自由基的特色

i. 目前僅次於氟但比雙氧水、漂白水更強氧化力的物質。見表 1.1 氧化力電位表

OXIDATION REDUCTION POTENTIAL (ORP) (ECOsmarte® Oxidizers in Bold)		
Chemical	Symbol	OPR Relative Value
Fluorine	F	2.25
<b>Hydroxyl Radical</b>	<b>OH</b>	<b>2.05</b>
<b>Atomic Oxygen</b>	<b>O<sup>1</sup></b>	<b>1.78</b>
Ozone	O <sup>3</sup>	1.52
<b>Hydrogen Peroxide</b>	<b>H<sup>2</sup>O<sup>2</sup></b>	<b>1.30</b>
Permanganate	KMn <sup>2</sup>	1.22
Hypochlorous Acid	HOCL	1.10
Chlorine (Gas)	CL	1.0
<b>Oxygen</b>	<b>O<sup>2</sup></b>	<b>.94</b>
Sodium Hypochlorite	NaCL <sup>2</sup>	.69
Bromine	Br	.57

表 1.1 氧化力電位表 Relative Oxidation Power(Cl<sub>2</sub>=1.0)

- ii. 對處理的污染物沒有選擇性
- iii. 反應速度快
- iv. 氫氧自由基純在生命週期短

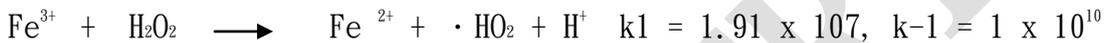
## (3)Fenton 處理法的特色

- i. 反應過程中可以將污染物徹底無害化。
- ii. 氧化劑 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 參加反應後剩餘物可以自行分解，不會殘留。

- iii. 同時鐵離子水解而產生的鐵的氫氧化物是良好的絮凝劑，可優化處理結果。
- iv. 運行過程穩定可靠，且不需要特別的維護，操作簡單易行。
- v. 反應必須在酸性環境下進行(pH 值在 3~5 之間為佳)。
- vi. 中和溶液需要消耗大量的酸鹼液。
- vii.  $H_2O_2$  利用率較低，對某些有機物礦化不充分。
- viii.  $H_2O_2$  價格較高，單獨使用 Fenton 試劑往往成本較高。
- ix. 反應中產生的鐵泥若處置不當易產生二次污染等。

## 二、Fenton 處理法家族

### (1) 傳統 Fenton 法

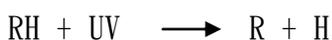
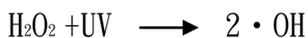
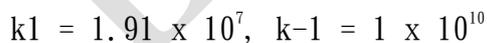


### (2) Fenton Like (異相反應)法



$TiO_2 + UV + H_2O$ , Fe/Cu 二項離子鹽混合反應

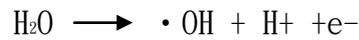
### (3) 光分騰 PhotoFenton 法



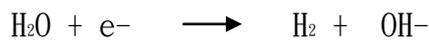
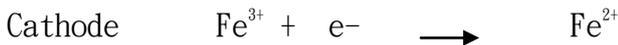
由於三價鐵離子經光源照射可將水體中的離子接收還原成二價鐵離子因此減少亞鐵離子的用量致污泥減少、效率提高。

#### (4)電分騰 Electro fenton

例如、EF-H2O2 型式



Anode 電極型式:SnO<sub>2</sub>、PbO<sub>2</sub>、BDD、Ti net doped RuO<sub>2</sub>、Pt



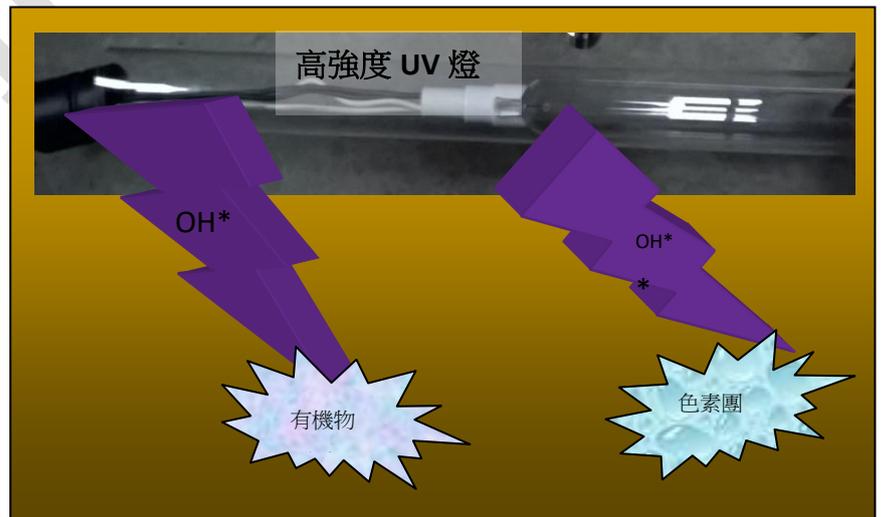
Cathode 電極型式: Graphite Felt、stainsteel carbon nanotubes (CP-CNT 高導體 高比表面積))carbon based materials—for example: graphite [19-20], reticulated vitreous carbon [21], nitrogen functionalized carbon nanotube [22], carbon sponge [23], activated carbon fiber [24] or granular activated carbon [25] and gas diffusion electrodes [26].



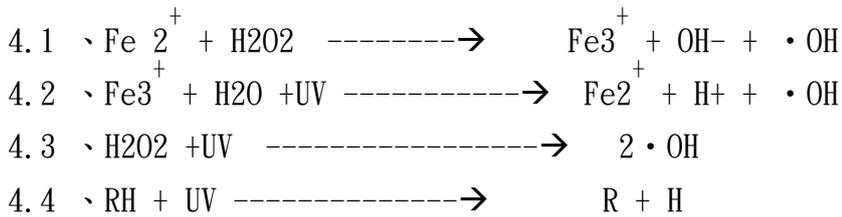
H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 需另外添加 以微量反應到流程結束，但雙氧水量和傳統分騰一樣。

### 三、光 FENTON 反應介紹

傳統的FENTON 氧化法是針對高濃度廢水很好的處理方法，其主要作用方式(反應式參考”二-FENTON 法”) 利用硫酸亞鐵及雙氧水的作用產生具強氧化分解力的自由基(OH·)將廢水中雙鍵、三鍵或環狀化合物給予斷鍵，進而將污染物氧化成易分解的產物。但反應水體需處在 PH 在 3 左右的環境才能讓上述的處理效果達到最佳狀態。反應後須將酸性調回至 PH > 9 結束反應。最後析出的汙泥進入沉澱槽沉澱，上澄液流至下一單元做最終處理。但此方法需投入大量的亞鐵離子於是會析出太多汙泥，以致增加汙泥處理的問題。因為 OH· 自由基存在的時間非常短暫所以反應為求效果會將反應參與的藥劑投入最大，於是加藥量會比實際需求高出甚多造成操作成本過高。



於是後續研究者陸續推出不同 FENTON 改良法來解決傳統的 FENTON 問題，本公司採用的是“光芬騰-PHOTOFENTON”是 FENTON 氧化法的一種新式改良，“光芬騰-PHOTOFENTON”作用差異為增加紫外線藉由光電效應還原經反應後的三價鐵離子水合物成二價鐵離子水合物其簡單反應式如下：



如上述反應式可看出光 FENTON 反應將亞鐵變三價鐵離子水合物，透過紫外光的還原三價成二價鐵的作用可以使用少量硫酸亞鐵的藥量就可達到處理效果，因此可將汙泥過多的情形給予改善。

又光 FENTON 反應在氧化還原過程都會生成  $\cdot\text{OH}$  所以它比其他 FENTON 法反應更有效率。

高濃度有機廢水多為雙、三鍵的化合物它們多可被紫外線產生能量置換作用造成分子在非高溫環境變的不穩定以致容易斷鍵分解。反應後僅須將酸性調回至 PH 於 7 多一點減少加鹼量。此改良方法各有其特長分別但由於受限紫外光的照射量對 SS 太高或濃稠廢水效果是不太理想，又反應過程也需調 PH 酸鹼用藥量也不少。

因為本公司專精於光化學及紫外線殺菌相關產品對紫外線衍生的效能比較專精因此我們會較推薦“光芬騰-PHOTOFENTON”。相關流程圖及設備規格內容請參考附件 1 及附件 2。如今這個處理方法在台灣我們選擇一代表性的案例概略介紹如下

#### 四、採用“光芬騰-PHOTOFENTON”範例

範例 1：

本公司針對該公司的廢水採行“光芬騰-PHOTOFENTON”處理水背景情況

(1). 廢水主要物質：含有機清洗廢液及生產原料廢液

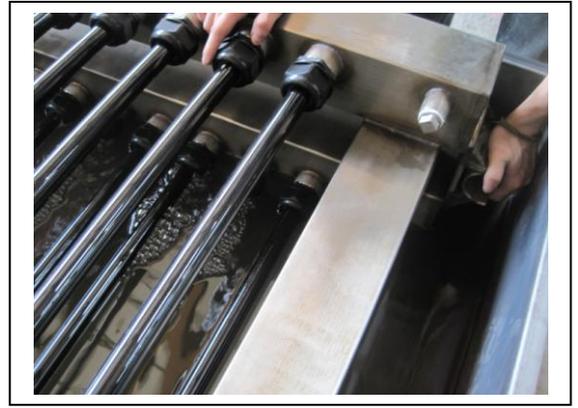
(2). 處理方式：批次式，由於該廠每日生產不同濃度廢水高低變化很大特別設計一大的反應槽以平均廢水濃度同時亦可因應製程中倒槽大批廢水一次處理。

(3). 處理量：150 噸/批次

廢水濃度：試車期間進流濃度 COD 介於 10,000 mg/L ~ 75,000mg/L 平均濃度：COD 介於



10,000 mg/L ~ 45,000mg/L 預估處理效率：70%COD  
 去除 處理流程詳附圖



(4)、處理效果 本公司廠於請俾期針對實際廢水 COD  
 經 3 個月操作記錄如下表

表 4.1: 經實廠運作處理效果分析表

項次	廢水名稱 說明	A	B <sub>2</sub>	C <sub>2</sub>	D
1	原水 COD	52,000	5,040	12,160	50,800
1.1	原水 pH	9.45	12.25	5.76	6.09
2	經高級氧化 3hrs	38,400	2,280	2,280	-
2.1	去除率%	26.2	54.8	76.3	-
3	經高級氧化 24hrs	4800	768 (22hrs)	1120	25,600
3.1	去除率%	90.8	84.8	90.8	49.6
4	經高級氧化 24hrs 之 BOD	3000	420	500	8,000
4.1	BOD:COD 比值	0.625	0.54	0.45	0.31

範例 2

該公司的廢水採行“光芬騰-PHOTOFENTON”處理水背景情況

- (1). 廢水主要物質:含有染整染料殘廢液及倒槽原料廢液
- (2). 處理方式:連續式。
- (3). 處理量: 2.5 噸/小時

廢水濃度: 試車期間 進流濃度 COD 介於 1,000 mg/L ~1500mg/L 預估處理效率: 70%~90%COD 去除效率  
 處理流程詳附圖

- (4). 此單元出流水在經化學混凝可進一步下降水中污染物。
- (5). 處理效果可達放流水排放標準 COD < 150mg/L 該廠至今已運行 3 年多效果穩定。



光 Fenton 處理法對高濃度廢水處理情況介紹

## “光芬騰-PHOTOFENTON” 的應用

- (1) 染整廢水處理。
- (2) 具有危害人體的有機廢氣處理。
- (3) 製藥業、電鍍業、化工業有機廢水處理。

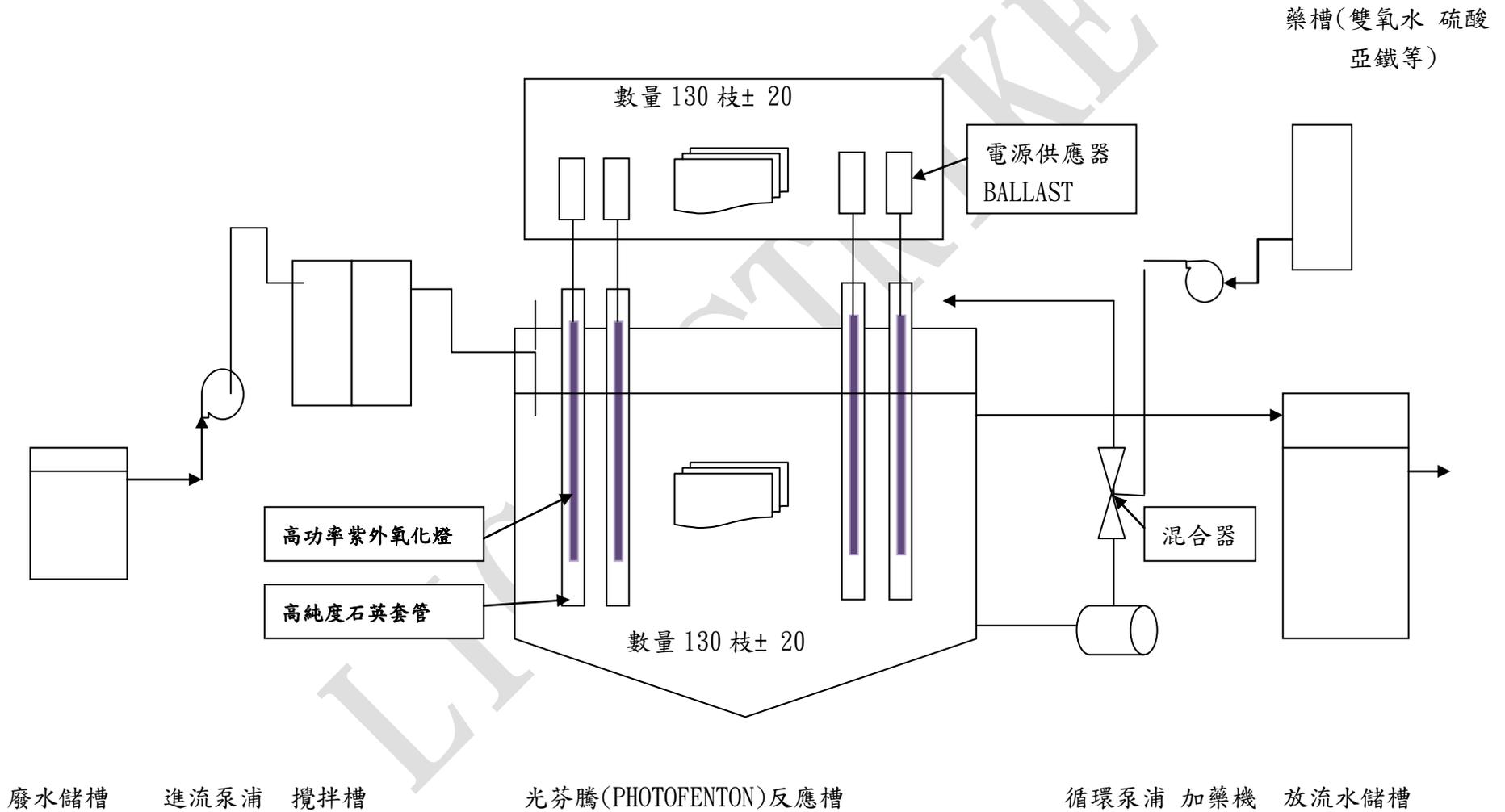
## 五、結論

經由我們實務操作經驗可確認 “光芬騰-PHOTOFENTON” 去除 COD 為 1 萬以下廢水效果會有很好的處理效率，可見 “光芬騰 -PHOTOFENTON” 處理方式有很明顯的破壞作用。高級氧化對用藥成本是並不便宜的，但因為去除 COD 愈高用藥一定會高，不能用處理 COD 只有 6-700mg/L 的情況來比較。但高級氧化不一定要處理達高效率只要將生物不易分解的物質將其斷鍵以求後續做生物單元進一步處理就可，由於經斷鍵後進生物單元多為可食物質，因此生物處理效率更好，也就是說我們僅需使用處理 30-40% 的用藥量使 bod/cod 的 比值增加就可讓此套流程達到最佳處理效果同時又節省操作運轉費。

近年光 FENTON 也獲取突破，我們正努力兩方面一是由於光 FENTON 反應借助太陽光的照射加強反應，所以我們亦在開發藉由太陽光來取代人造的紫外燈的替代流程。如此操作成本更省又可發展綠能 二是 酸鹼調控問題我們也導入新式鐵離子觸媒來配合紫外光的反應此方法，不管在去除率或反應時間更有效率同時在中性環境就可操作，減少調 PH 的用藥成本且此流程亦可運用在空氣汙染問題。

光 FENTON 處理法具有更遠的前瞻性其高處理能力會是未來環境保護很重要的方法，藉此經驗我們介紹給有難去除廢水或廢氣的廠商多一個可參考方案。

附件 1 光 FENTON 廢水處理設備流程圖



## 附件 2 光 FENTON 廢水處理設備內容及規格

1. 進流泵 數量乘 1 (馬力依實際使用處理量而定)
2. 攪拌槽 數量乘 4 (容積依實際使用處理量而定)
3. 反應槽 數量乘 1 (容積依實際使用處理量而定)
4. 高功率紫外氧化燈(@253.7nm 波長)，數量 130 枝± 20 型號 GPH1148T5L/HO 120W 或 GPH1554T5L/HO150 W 或其他相關反應用紫外燈。
5. 高純度石英套管，高穿透率可讓紫外線穿透達 80%以上 數量 130 枝± 20 型號 EN08 或 EN07 或其他相關玻璃套管 EN08 型。
6. 電源供應器(BALLAST)，數量 60 組± 20 型號 SHS15-UNV-H 或其他相關可啟動反應用紫外燈之電源供應器。
7. 加藥機 隔膜式(PFA 膜片)
8. 雙氧水儲槽 PP 或不銹鋼材質
9. 循環泵 數量乘 1 (馬力依實際使用處理量而定)
10. 放流水槽 數量乘 1 (容積依實際使用處理量而定)
11. 攪拌用鼓風機 魯式(馬力依實際使用處理量而定)

### 附件 3 光 FENTON 廢水處理設備參考外觀

本設備處理量為 0.2 噸/時，本設備可並聯串聯或重新拆成多單元結合處理

