

電化學廢水處理技術 與設備評估

楊 倩

前 言

隨著工業的發展，製程產生之廢水性質不斷改變，廢水中所含之重金屬物質、有機物、無機物、有害物質及難分解物質等污染物均很難利用傳統之生物及物化方法加以妥善的處理；然而環境品質之要求在87年更趨嚴格，部分行業如染整業、紡織業、製革業等行業排放之難分解廢水，在現況處理下，不易符合87年放流水標準，因此各產業為達到要求，勢必須提升操作維護技術，或增設有效之處理設備來因應。

電化學廢水處理方法具有處理難分解物質之功效，且設備佔地面積小、操作維護容易、處理時間較短，有助於工廠克服處理設施用地不足，操作人力短缺之困擾，而近年來，台灣地區由於水資源日漸不足，部分地區工廠必須進行廢水處理回收再利用，始能舒緩旱季缺水之窘況。本篇僅將「電化學廢水處理技術」做一介紹，並評估國內已商業化之電化學處理設備的特點及適用性，供各界參考應用。

電化學原理說明

目前國內主要之電化學處理設備包括高壓脈衝電凝技術、量子電凝技術、電化浮除技術及電化學高級氧化處理技術等4種。各技術之處理原理說明如下：

1. 高壓脈衝電凝技術

高壓脈衝電解法乃利用電解化學，藉助外力電流作用產生電化學反應把電能轉為化學能，對廢水中有機及無機物質，進行氧化、還原反應，進而凝聚、浮除將污染物從水體中分離，藉此去除廢水中COD與色度。

高壓脈衝設備係以可溶解性金屬（鋁或鐵）為極板，操作時在電解槽中通以高電壓、低電流的直流電，藉廢水中電解質的電子傳導，產生一系列的氧化、還原化學反應及混凝、浮除作用。

高壓脈衝電凝設施之處理流程如圖1所示，廢水先經欄污設備去除廢水中的纖維與大型污物後，進流至調勻槽均勻水質與調整處理水量，使原廢水的不穩定性降至最低，而後經電

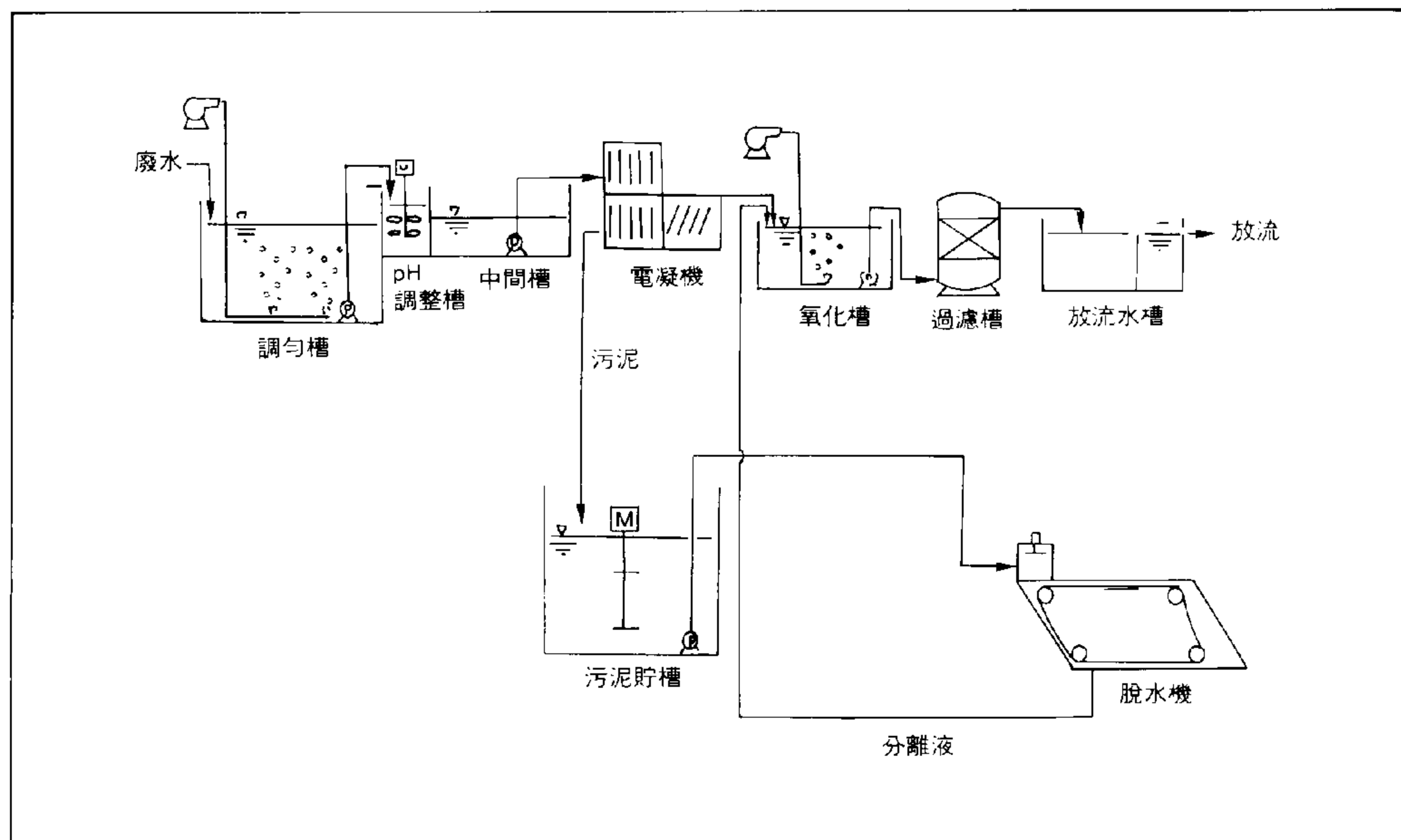


圖1 高壓脈衝電凝設備處理流程

凝浮除主機處理，處理產生之污泥經刮除後進行後續脫水處理。處理水中因含有未完全反應為 Fe^{3+} 之 Fe^{2+} ，而懸浮於處理水中使水質呈鐵鏽色，故處理水需採曝氣方式加速 Fe^{2+} 氧化成 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ ，並利用砂濾設備去除 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{s})$ ，使處理水的透視度更佳、外觀更清澈。

2. 量子電凝技術

量子電凝技術主要利用量子電化學之原理，對於廢水中的污染分子與電子及金屬離子作用，產生沉澱物及非污染性分子和 H_2 ，然後再進一步用微泡沫浮除法（或其他過濾法）予以澄清過濾。該技術之主體為一電凝主機，係採用一組三相全波整流器，加以變換電流，並應用法拉第定律及歐姆定律達到電荷之轉移。

量子電凝技術之應用，最大的特色為處理設施完全根據廢水處理可行性試驗結果來設計，且設備採組合式套裝模組，適合缺乏場地空

間之工廠安裝使用。該技術對各種工業廢水及有機性廢水皆有效，並具殺菌、消毒及除臭作用，其基本處理流程如圖2所示。

3. 電化浮除技術

電化浮除技術（簡稱EPN法）是利用電化學、流體力學等相關技術結合而成的處理技術。其係從電場的角度切入，強化某一部分特性，使廢水中的雜質產生自凝作用及膠羽成長，主要處理原理為：

(1) 電場的建立

利用極板與極板間不同的正、負電性，由外界提供直流電壓，在兩極板包圍的矩形範圍內能產生所須要的電場，電場強度決定於所予電壓的高低，以及距離的大小。

(2) 雜質偶極化

在適度的電場強度下，任何雜質都會受到電場影響，本身產生內部電荷的重新分配，

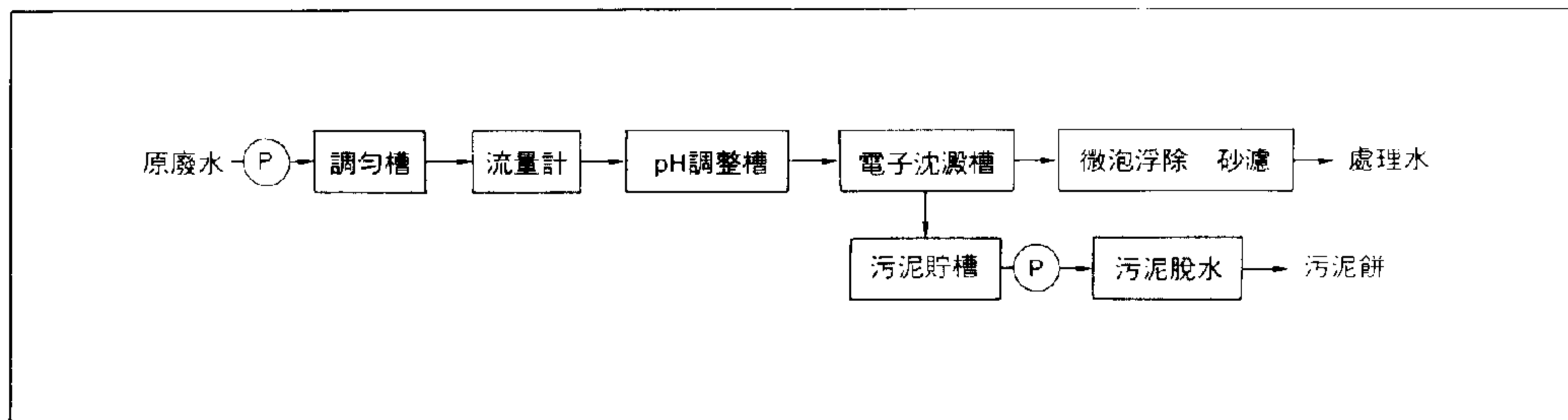


圖2 量子電凝技術典型處理流程

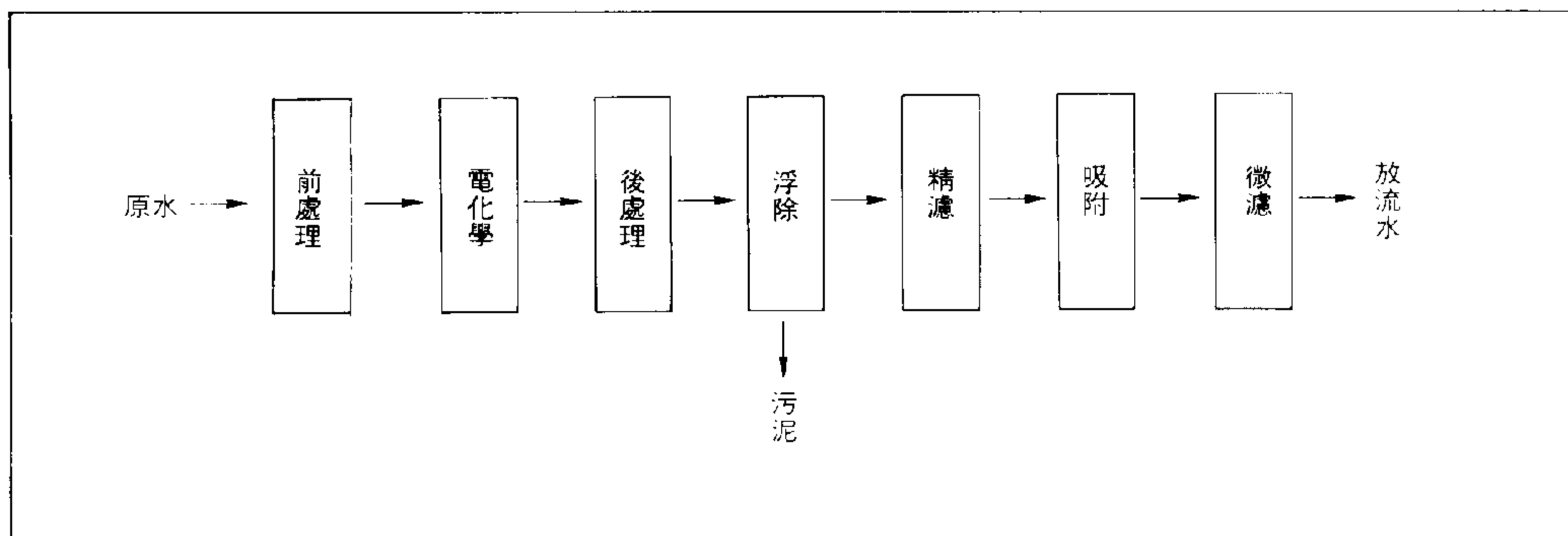


圖3 EPN處理流程圖

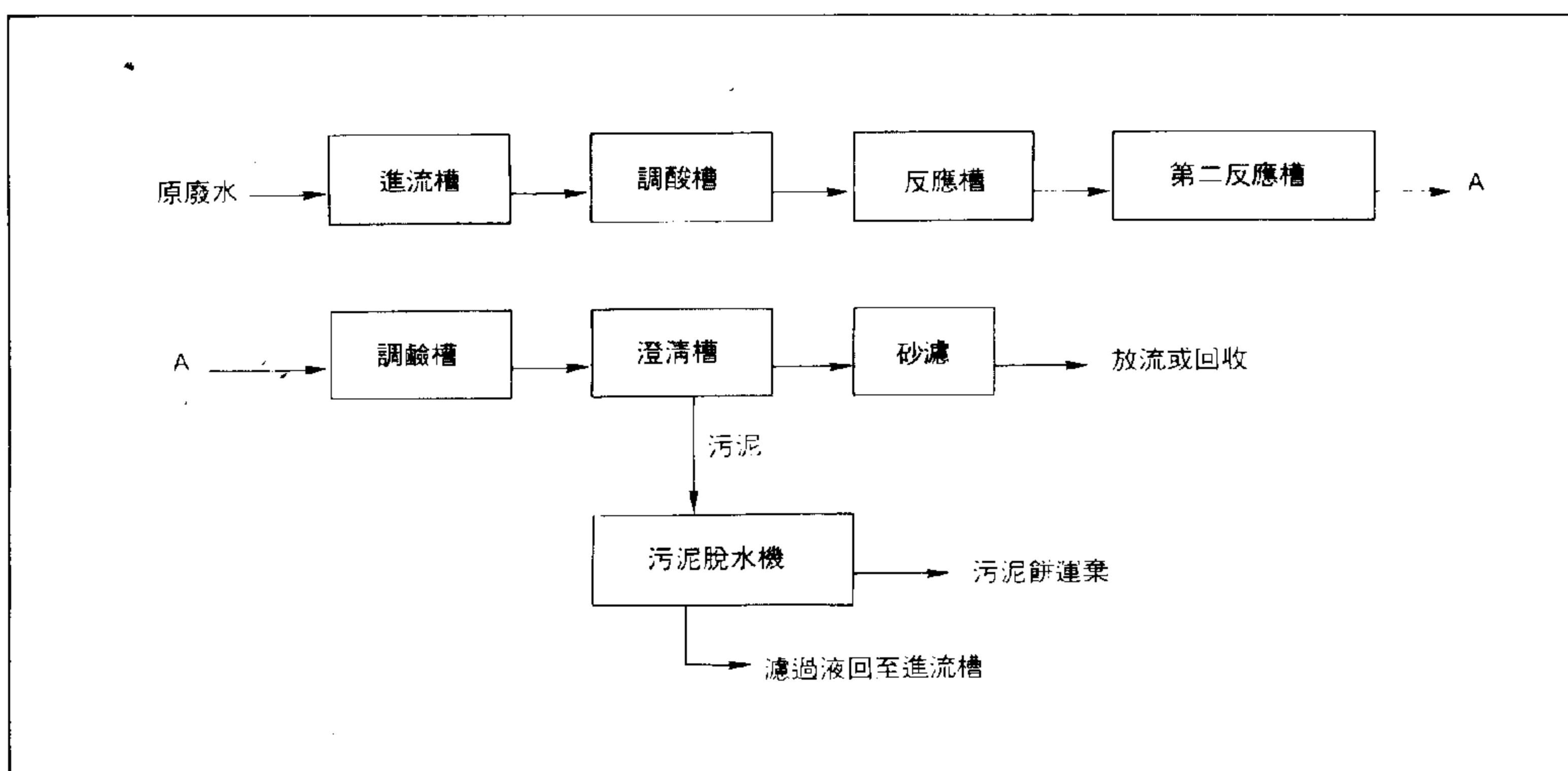


圖4 電化學高級氧化處理流程圖



表 1 不同電化學法之操作因素與設備特性比較

項 目	高壓脈衝電凝法	量子電化學凝聚法	電化浮除法	電化學高級氧化法
主要原理	電解化學	量子電化學	電解產生微氣泡	電解、氧化
導電度限制	< 3ms/cm	無	1μs/cm~254ms/cm	無
pH	5~7	0~14	0~14	2~5
溫度限制	愈高愈好	無	無	無
C D濃度	1,000mg/L以下	—	0~10 ⁵ mg/L	—
SS	不可太低，以增加粒子間之碰撞	—	不可太低	—
極板材料	依廢水特性選用，大部分採用鐵、鋁板	鐵、鋁板	—	鐵
極板間距	間距大小影響處理成效	有影響	—	有影響
攪 拌	要	要	要	要
停留時間	經測試決定	經測試決定	10分鐘	經測試決定

表 2 模廠測試工廠產業類別

工 廠	行業別	產品種類	模廠測試種類
A廠	半導體業	16M Dram	量子電凝模廠
B廠	染整業	法蘭絨、克熱布	量子電凝模廠
C廠	皮革業	面皮、樹皮半成品	量子電凝模廠
D廠	染整業	尼龍布染色加工	量子電凝模廠
E廠	染整業	商標布	量子電凝模廠 高壓脈衝電凝模廠 電化學高級氧化模廠
F廠	塑膠製造業	收縮套管	量子電凝模廠
G廠	染整業	染色紗	量子電凝模廠
H廠	化工業	DHBP、UVA-90、UVA-91	量子電凝模廠
I廠	化工業	直接染料、反應性染料	量子電凝模廠
J廠	食品業	便當	高壓脈衝電凝模廠
K廠	洗衣業	洗衣	高壓脈衝電凝模廠
L廠	染整業	彈性布、刷毛布等	高壓脈衝電凝模廠
M廠	化工業	DOP	高壓脈衝電凝模廠
N廠	化工業	水泥減水劑、均染劑、柔軟劑、螯合劑、增高劑	高壓脈衝電凝模廠

“+”電荷偏向“-”極板，“-”電荷偏向“+”極板，水亦受到電場的影響使包圍雜質的水合力減弱，雜質本身具有較高的自由度，有利後續的作用發生。

(3)雜質的聚合

帶電荷的雜質，藉流動的過程，A雜質的“+”電荷，與B雜質的“-”電荷有可能彼此接近，此時正負向的磁場彼此產生相吸，使雜質A、B瞬間碰撞結合，成為一顆新的雜質。此

新的雜質仍在電場中重新被誘導，此種結合屬於自凝行為。

(4)膠羽的形成

藉流道的特殊設計，使流體產生擾流狀態，雜質有機會與不同層流的雜質產生碰撞，其粒徑才能繼續成長，當經過反復碰撞拾次後，許多雜質可以成長 $10^3 \sim 10^4$ 倍，可由 $100 \text{ \AA} \sim 1000 \text{ \AA}$ 的粒徑，聚合成 $0.1 \text{ mm} \sim 1 \text{ mm}$ 的膠羽。



表 3 量子電凝試驗操作條件

工 廠	處理水量(L/hr)	pH	電 壓	電 流	導電度	極板材料	停留時間
A廠測試一	4.8	5.7	110V	0.15A	2.14ms/cm	鋁板	25min
A廠測試二	4.8	5.7	110V	0.2A	2.14ms/cm	鐵板10片	25min
E廠*	3.3	7.16	110V	0.7A	7.5ms/cm	鐵板18片	25min
B廠	1.4	6.38	110V	0.5A	3.4ms/cm	鐵板18片	60min
D廠	2.8	4.9	110V	0.4A	1.26ms/cm	鐵板	30min
G廠原廢水	3.36	6	110V	0.2A	2.6ms/cm	鐵板(38片，間距1cm)	25min
G廠放流水	4.2	5.75	110V	0.5A	4.15ms/cm	鐵板(38片，間距1cm)	20min
C廠	4.8	5.3	110V	0.5A	6.15ms/cm	鐵板(34片)	40min
F廠	2.0	5.4	55V	0.15A	0.45ms/cm	鐵板(32片，間距0.5cm)	15min
I廠	12.0	1.75	100V	3.1A~4A	>20ms/cm	鐵板(52片，間距1cm)	10min
H廠原廢水	4.6	1.7	110V	1.9A~2.4A	>20ms/cm	鐵板(52片，間距1cm)	26min
H廠一級處理水	4.8	—	110V	1.6A~2.5A	—	鐵板(52片，間距1cm)	25min

*原廢水先經曝氣處理後再電解

表 4 量子電凝試驗實驗結果

工 廠	原廢水(mg/L)	處理後(mg/L)	去除率(%)
A廠測試一(F ⁻)	1029.8	22.8	97.8
A廠測試二(F ⁻)	1029.8	24.7	97.6
E廠*(COD)	25,096	1,951	92.2
B廠(COD)	4,148	2,614	37.0
D廠(COD)	2,765	996	64.0
G廠原廢水(COD)	457	119	74.0
G廠放流水(COD)	116.4	44	62.2
C廠(COD)	1,326	1,212	8.6
F廠(COD)	912	819	10.2
I廠(COD)	10,117	4,514	55.4
H廠原廢水(COD)	23,545	11,776	50.0
H廠一級處理水(COD)	13,784	7,430.8	46.1

(5)助凝劑添加
形成的膠羽。亦如同其他方法藉助助凝劑的添加，使膠羽相互靠近結合加大，當此些膠羽結合時，藉某一專利技術的應用，無須外加空氣情況下，便能使膠羽中存在大量氣泡，形成海綿狀態。

(6)膠羽上浮
由於膠羽中充滿了氣泡，膠羽的比重遠小

於水，可在極短的時間內，藉浮力使其迅速上浮而與水完全分離。

EPN之處理流程如圖3所示。
4.電化學高級氧化處理技術
電化學高級氧化處理法主要係利用Fenton反應原理，以過氧化氫為氧化劑在亞鐵離子存在下進行之化學氧化法。當氧化反應發生，OH·自由基迅速生成，此自由基之氧化力



表 5 高壓脈衝電凝試驗操作條件

工廠	處理水量	pH	電壓	電流	導電度	極板材料
L廠	100L/hr	6.5	220V	1A	0.98ms/cm	鐵板
J廠	100L/hr	6.2	220V	2~3A	1.09ms/cm	鐵板18片
K廠	100L/hr	6.66	220V	2~3A	1.2ms/cm	鐵板
M廠	100L/hr	6.8	205V	4A	0.45ms/cm	鐵板
N廠	100L/hr	6.06	205V	3.5A	1.9ms/cm	鐵板

表 6 高壓脈衝電凝試驗實驗結果

工廠	原廢水	處理後	去除率(%)
L廠(COD)	536	59.8	88.8
J廠(COD)	1,576	589	62.6
K廠(COD)	312	200	35.9
M廠(COD)	8,710	5,940	31.8
N廠(COD)	4,950	1,470	70.3

表 7 高壓脈衝電凝法及量子電凝法之處理成效

項 目		高壓脈衝電凝法	量子電凝法
半導體製造業	原廢水F ⁻ 濃度(mg/L)	—	1029.8
	去除率(%)	—	97.6~97.8
染整業	原廢水COD濃度(mg/L)	536	457~25,096
	去除率(%)	88.8	37.0~92.2
化工業	原廢水COD濃度(mg/L)	4,950~8,710	10,117~23,545
	去除率(%)	31.8~70.3	50.0~55.4
皮革業	原廢水COD濃度(mg/L)	—	1326
	去除率(%)	—	8.6
食品業	原廢水COD濃度(mg/L)	1,576	—
	去除率(%)	62.6	—
洗衣業	原廢水COD濃度(mg/L)	312	—
	去除率(%)	35.9	—
塑膠製造業	原廢水COD濃度(mg/L)	—	912
	去除率(%)	—	10.2

甚高使廢水中大分子有機物分解為小分子，此時如有氰化物、酚等有毒化合物則可被氧化為無毒性者或其他易為微生物分解的化合物。並可使染料中具發色團之鍵結斷裂，同時亞鐵離子氧化生成正三價亞鐵並形成氫氧化鐵（ Fe(OH)_3 ），從而發生混凝、吸附作用，去除有機物及其他重金屬。過氧化氫本身則分解成水與氧氣。在程序上，鐵離子可有二個不同的來源：即硫酸亞鐵（ FeSO_4 ）之水解或電解鐵板產生鐵正二價離子。利用電化學反應可產生氫氧化鐵的沉澱，此沉澱具有活性表面，可吸附重金屬及有機化合物後，再加入少量的離子性聚合物經作用予以固液分離，其產生最佳分離效果之pH值在8~9之間。

電化學高級氧化處理設施之處理流程如圖4所示。

綜合上述說明，高壓脈衝電凝法、量子電凝法、電化浮除法及電化學高級氧化處理法，基本上可歸納為電化學原理之應用，並藉由電解時產生之氣體進行膠羽之浮除，以達到降低廢水污染濃度及固液分離之作用。惟於實際應用時，4種處理技術各有其不同之特性；4種處理技術操作因素與設備特性綜合比較如表1所示。

可行性評估

可行性評估主要係利用兩組模廠進行測試



，分別為高壓脈衝電凝技術模廠與量子電凝技術模廠。其次電化學高級氧化處理模廠配合進行一家工廠模廠測試。合計進行7種行業共14家工廠廢水之模廠測試，其產業類別如表2所示。各廢水水質之測試結果依模廠種類表列如下。

1. 量子電凝模廠試驗

(1)實驗操作條件（如表3所示）

(2)實驗結果（如表4所示）

2. 高壓脈衝電凝模廠試驗

(1)實驗操作條件（如表5所示）

(2)實驗結果（如表6所示）

由以上14次廢水模廠測試結果，依工廠行業別將 F^- 及COD去除率做一比較，如表7所示。

表8 電化學技術實廠處理成效比較

項 目	高壓脈衝 電凝法	量子電 化學法	EPN
COD去除率(%)	85	57~74	88
處理水質符合87年狀況	可符合	無法符合	可符合
設備運轉之穩定性	佳	試中	佳

註：電化學高級氧化法目前在國內尚未設置實廠

3. 討 論

由模廠可行性試驗結果顯示：

- (1)高壓脈衝電凝試驗中，對於染整業及部分化工業之COD處理成效較佳，去除率可達70%以上；然而，對於洗衣業及食品業處理成效則有限。
- (2)量子電凝試驗中，以COD濃度而言，對於部分染整業處理成效較佳，去除率最高可達90%以上，化工業高濃度COD之去除率雖僅有50.0~55.4%，但其原廢水濃度高達23,545 mg/L，經處理後污染濃度已大幅降低；其次對於皮革業及塑膠製造業，由於產業廢水特性關係，COD處理成效有限。
- (3)量子電凝試驗中，發現對於半導體業之含氟廢水處理成效頗佳，穩定狀況下，氟離子之去除率均在90%以上。
- (4)各模廠經測試後之污泥產生量，均有較高之現象，此係因污泥均未經調整、脫水所致，以量子電凝試驗中之污泥而言，經收集後分析其乾污泥量約0.37~50.94kg/噸廢水，作三成分分析：水分佔91.30%，灰份佔6.03%，可燃份為2.67%，含水

表9 電化學技術成本評估

項 目	設置成本	操作成本	維修成本
高壓脈衝電凝法	1.5~2萬元/m ³ 廢水	耗電量：0.15~1.5kwh/m ³ 廢水 耗鐵量：20公克/m ³ 廢水	定期保養
量子電化學法	1.5~2萬元/m ³ 廢水	電費：約6元/m ³ 廢水 極板消耗量：尚無法評估 污泥產生量：約0.37~50.94kg/m ³ 廢水	定期保養
電化浮除法	2萬元/m ³ 廢水	耗電量：0.5~1.0度/m ³ 廢水 藥劑添加量為傳統之1/3	定期保養
電化學高級氧化法	0.6~1.5萬元/m ³ 廢水	耗電量：0.15~0.18kwh/m ³ 廢水 藥劑添加量(包括耗鐵費)：2.4~8.0元/m ³ 廢水 污泥產生量：約0.35~1.2kg/m ³ 廢水 總計約3.3~13.2元/m ³ 廢水	定期保養

註：此評估值為模廠測試值，實廠運作上尚需視水質水量而改變



率較高宜經脫水後減量。

實廠評估

將前述4種電化學處理技術之3個實廠操作狀況，作一比較，如表8所示：

成本評估

以下僅將前述4種電化學處理技術之設備設置成本、操作成本、及維修加以評估，並彙整如表9所示。

結 論

1. 可行性試驗結果顯示，高壓脈衝電凝法對於不同特性之廢水COD去除率為31.8~88.8%，對於染整業及部分化工業處理成效較佳，去除率可達70%以上。然而高壓脈衝電凝法之應用受限於廢水之導電度值需在3ms/cm以下才能進行測試。因此在廢水之篩選上必須有所限制。
2. 量子電凝法模廠試驗結果，對於不同特性廢水COD去除率為10.2~92.2%；其中對於染整業、化工業大部分處理成效均達50%以上，但對於皮革業及塑膠製造業之測試結果去除率均在10%以下，此係受產業特性所致。然而對半導體業廢水中 F^- 之去除率可達90%以上。
3. 模廠測試結果顯示，電化學處理設備能處理之廢水性質，仍有所限制，如高壓脈衝電凝法受限於電導度，因此工廠在選用電化學處理設備時，仍宜先進行模廠測試以做為篩選之方法。
4. 量子電凝法模廠測試結果顯示，對半導體業之含氟廢水之測試中， F^- 之去除率高達

92%以上，將來宜對此類廢水再做進一步測試與評估，若處理成效仍佳，則可做為半導體業氟系廢水處理之新技術。

5. 各設備廠商未來在實廠設計上，應注意操作、維護之便利性。如極板之更換，設置方法等，在設計之初即應考慮。
6. 設備廠商在設備之安全性尤應考慮，由於設備運轉時均使用高壓電，在材料方面之選擇，應注意絕緣、耐蝕等，以防止漏電及材料融化之現象。
7. 在污泥量之評估方面，除需加強量化資料之建立，尚應研發污泥減量之方法，如極板之選用、減少極板消耗量，以削減污泥產生量。
8. 對於經電化學處理後之廢水性質，是否適宜再由生物處理法進行處理，而不會對生物產生抑制或毒性，是大部分廠商之疑慮，此疑慮目前設備廠商尚未進行評估，此亦為未來研究發展之方向。
9. 各設備廠商仍應加強技術之研發及維修技術之提升，以提高工廠採用此設備之信心。■

參考資料

中技社工業污染防治中心，電化學廢水處理技術與設備評估推廣，經濟部工業局，中華民國87年6月。

陳見財，利用高電壓低電流電解法處理染整廢水之可行性評估，1997工程實務技術研討會，pp337-347，中華民國86年11月。

蘇拾生，EPN電聚浮除處理技術介紹，工業污染防治，NO.62，pp168-183，中華民國86年4月。



作者簡介：

楊倩小姐，國立臺灣大學環境工程研究所碩士。曾任私立淡江大學土木工程學系研究助理，77年3月至77年8月；國立臺灣大學環境工程學系研究所助理，77年9月至81年8月；中國技術服務社工業污染防治中心工程師，87年7月迄今。主要專長為環境工程。

廠商熱訊

責任編輯 成貴理

目前環保意識抬頭，使得國人逐漸重視與關心環境污染的問題，至於如何來解決這些難題呢？我想除了專業還是專業，有些台灣的製造商一味抄襲國外的資料，依樣劃葫蘆，結果出了問題就停擺了，也不知道如何解決，而糾紛也應運而起，導致業者對國內製造商或者說“台製品”沒信心而非排斥。事實上仍有些專業人員引用外國的資料，加以研究開發出適合我們國內使用的產品，當然使用者在審慎抉擇時就要評估它的全面性。

騰偉公司專業製造空氣污染防治工程，對於集塵與塗裝設備已有十餘年之經驗，並且經常走訪先進國家研究國外優良之創作。由於國內土地成本高，人力不足故引進國外之折疊式濾管，而在台灣自行製造加工以節省製造成本，讓國人能享用到優良的機種，卻不必花大筆的費用。由於此機種佔地空間小，約為原來機種之1/2面積，但對微細粉塵卻有更理想的集塵效果（可達環保標準），且使用自動脈沖洗式逆洗方式清洗濾管，可節省人力並可保持高效率之集塵效果。就技術而言，不同含量的粉塵在處理時，有不同的方式，並非千篇一律，而製造商由於專業水準參差不齊，往往造成業者不必要的損失。

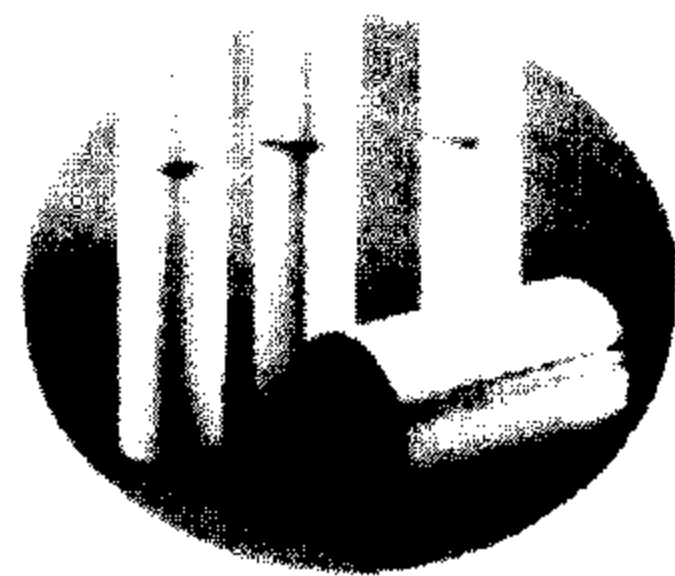
各式過濾器

■特點

- ①過濾面積：本公司之折疊式過濾管，過濾面積為一般相同尺寸之濾布管的9倍，可減少安裝所需之空間及機體之重量。
- ②透氣性：濾材透氣性佳，在200Pa時，透氣度為1250L/m²/sec。
- ③簡易性：如須更換濾管時，工作人員可以不必進入集塵機內，維修及保養簡易。
- ④可依客戶之需求規格訂制。

■用途

木工業、滑石粉、飼料業、澱粉業、製革業、製紙業、鑄造業、碎石業、陶瓷業、粘土業、水泥業、磚窯業、塑膠業、橡膠業、磨粉業、噴砂業、石棉工業、肥料工業、石膏板業、金屬粉業、熔化爐業、粉體塗裝業、樹脂砂磨業、化學藥品業。



濾袋式集塵機

■特點

- 使用折疊式成型濾管，過濾面積大，拆裝簡易，且濾布耐久性佳。
- 對微細粉塵可達99%之集塵效果。
- 使用高壓空氣噴射，能瞬間震落粉塵，使其保持良好之集塵效果。
- 瞬間噴洗震落，所以壓力損失固定，風量變動少，效率高。

■用途

- 適用於研磨、裝卸、混合、攪拌、粉體輸送、乾燥爐、熔解爐、醫藥、化學、水泥、石灰、木器、粉體塗裝……等作業場所。

