

廢水處理技術與操作實務

財團法人中興工程顧問社
環境工程研究中心

朱敬平 cpchu@sinotech.org.tw

大綱

 一、廢水處理單元常見問題

 二、氨氮廢水處理技術

 三、重金屬廢水處理技術

 四、廢水處理節能方向





一、廢水處理單元常見問題

廢水處理問題歸納

處理程序

-  處理流程安排不當（屬規劃缺失）
-  負荷過高（屬設計缺失）

處理單元設備

-  設備規格不當（屬設計缺失）
-  設備損壞（屬操作維護缺失）

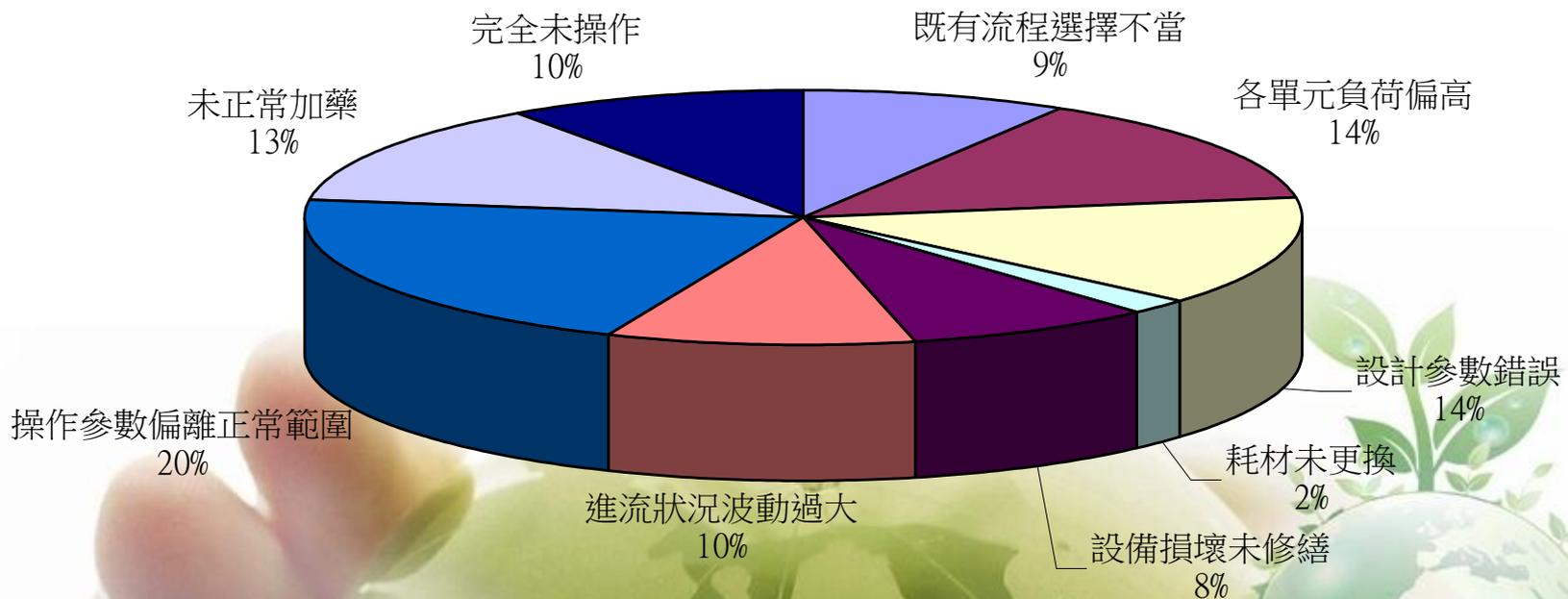
操作維護管理面

-  操作不當
-  加藥不當
-  完全未操作

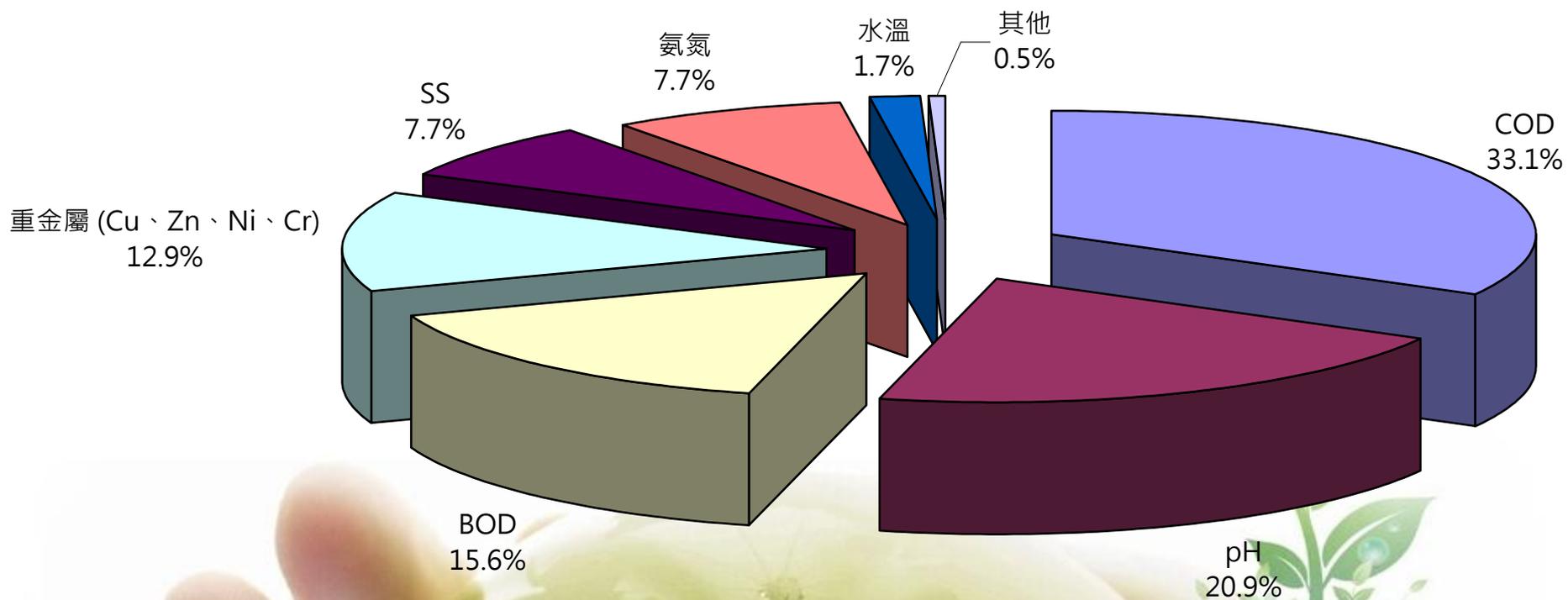
廢水處理問題歸納 (續)

🌈 調查家數：23座工業區612家納管事業

🌈 需作部分改善或大幅改善者：351家



不符標準水質項目



改善方向

製程改善

-  包括用藥減少、更換與回收，惟施行難易依各廠而大相逕庭

處理流程更改

-  產量增加或產線更改，需調整既有廢水處理程序

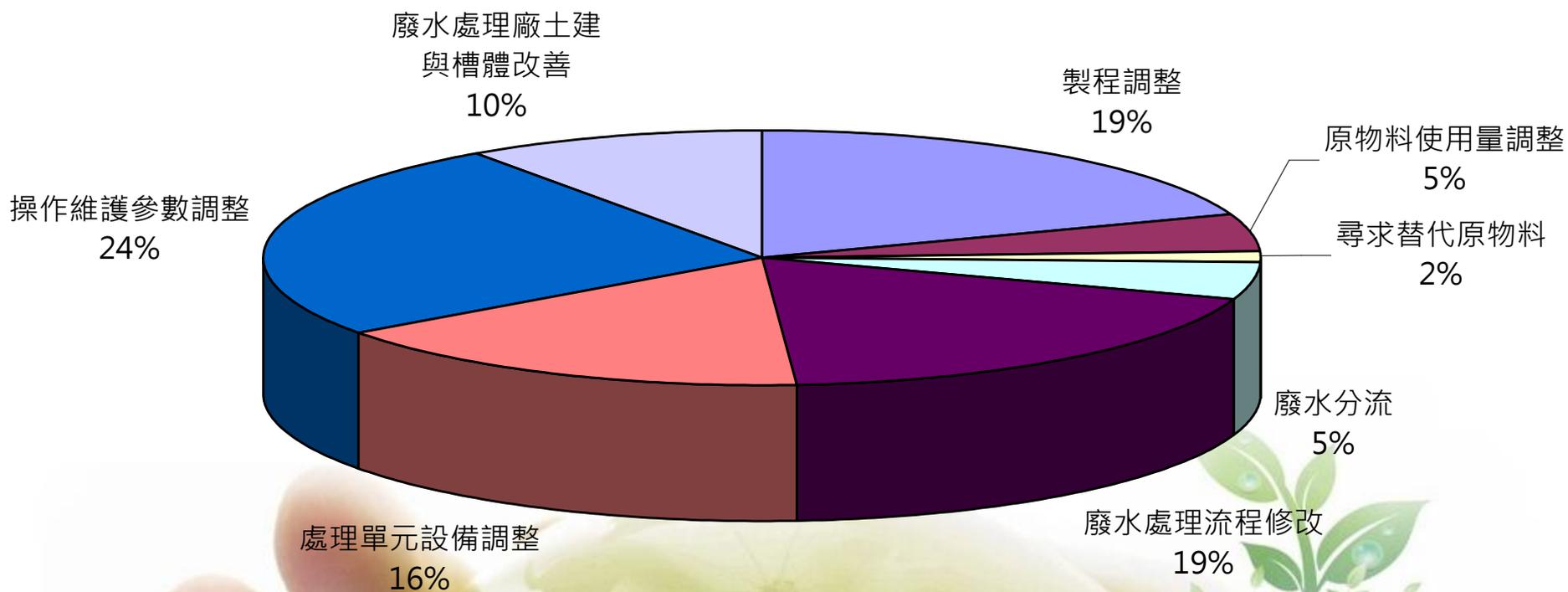
設備更換或維修

-  設備過於老舊，或因現場環境腐蝕嚴重，系統已未能正常作動

強化操作人員教育訓練

-  操作條件未配合進流現況調整
-  因成本考量使加藥量偏差

改善方向 (續)



物化處理單元操作常見問題

- 🌈 製程所用酸液大量流入（如磷酸），造成大量鹽垢產生（如磷酸銨鎂），間接提高SS
- 🌈 嘗試以浮除設備處理過重之顆粒
 - 📁 如細鐵砂、細銅粒等
- 🌈 藥劑種類（聚氯化鋁或氯化亞鐵）之使用缺乏評估，部分狀況下可能衍生更多污泥
 - 📁 鋁鹽與鐵鹽均帶結合水，過量加藥會使污泥變濕，也無法再提升水質

物化處理單元操作常見問題 (續)

- ❁ 缺乏線上監測設備，不易評估混凝pH、加氯氧化，或加亞硫酸鹽還原（除氯）之操作...等是否適當
- ❁ 活性碳單元未定期監測效能，效能不彰仍持續使用，發生有機物貫穿（breakthrough）或破碎活性碳流出之狀況
 - ❁ 需增設薄膜過濾設備
- ❁ 使用過多高分子絮凝劑於污泥脫水過程，致使濾液之黏度過高，且增加COD
 - ❁ 陰性高分子發生機會比陽性高分子更多

物化處理單元操作常見問題 (續)



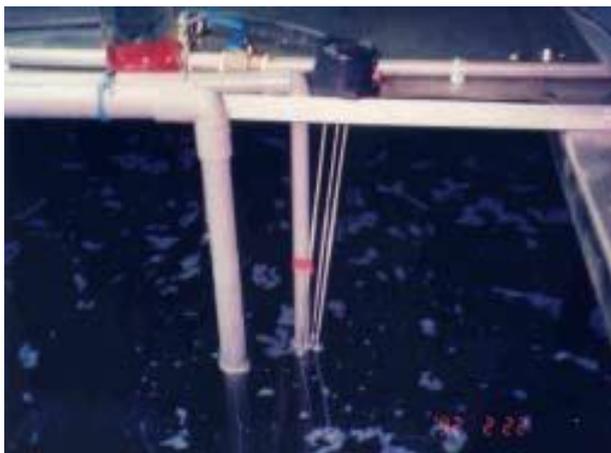
缺乏高濃度廢液儲存槽



調勻池大量浮渣



調勻池死角堆泥



液位計未正常作動



加藥點與監測儀器距離太遠



攪拌機功率不足

生物處理單元操作常見問題

- 🌈 生活污水化糞池未定期清理，造成COD及氨氮濃度偏高
 - 📄 較容易發生在小型工廠
- 🌈 未經評估，濫加生物制劑，活性污泥池內反而未形成穩定生物相
 - 📄 生物制劑包含微生物與氮磷等營養鹽，惟無法取代長期馴養之污泥
- 🌈 活性污泥池MLSS中VS比例過低
 - 📄 MLVSS/MLSS宜大於0.6

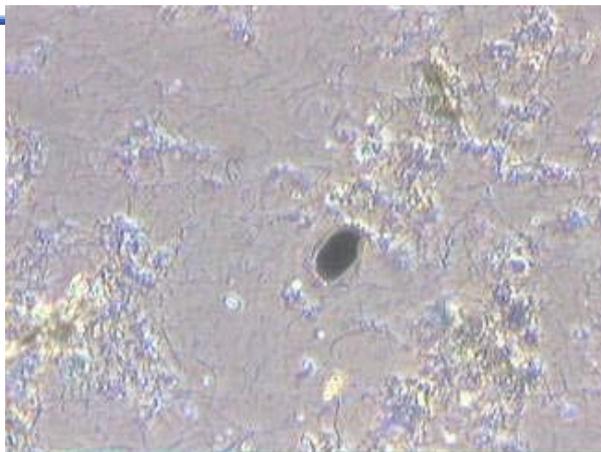
生物處理單元操作常見問題 (續)

- 🌈 補充營養鹽 (氮、磷) 之加藥機已故障，未正常加藥，卻未發現
 - 📄 常見為磷鹽堵塞，或為生物膜、藻類等
- 🌈 生物池內曝氣不均勻，死角多，積泥嚴重
 - 📄 呈厭氧狀態，上方可測得甲烷氣
- 🌈 污泥上浮嚴重，但未即時應變
 - 📄 應檢討F/M比、曝氣量、污泥迴流量等
 - 📄 最常出現問題為過度曝氣，排泥量又太少
- 🌈 沉澱池浮渣問題嚴重，影響出流水質 (SS)

生物處理單元操作常見問題 (續)



表面活性劑或油脂流入生物池



微生物生態無法保持穩定



二沉池積有太多厭氧污泥



未監測生物污泥沉降性



曝氣不均勻



發泡嚴重帶出污泥

特定事業廢水特性與改善方案

污染特性	主要物種
重金屬	包括鐵、錳、銅、鎳、鋅、鈮、鎵、鉬、銀、鋁等物種
氟離子	主要來自二氧化矽蝕刻液 (氟化銨) 和氫氟酸
含氮物質	主要來自二氧化矽蝕刻液 (氟化銨)、顯影劑氫氧化四甲基銨 (TMAH) 和氨水等
含磷物質	主要來自磷酸與鋁蝕刻液 (含磷酸)
其他大宗製程化學品	包括異丙醇、丙酮等
生物急毒性 (TU _a)	各廠情況不一；目前調查結果顯示氨氮濃度高，TU _a 亦相對高，但TU _a 尚有其他影響因子

改善方案

- 製程源頭減量：製程化學品濃度管理、盤查污染源、高濃度含氮物質回收再利用及源頭減量等
- 提升廢水處理效能：延長既有生物處理單元水力停留時間和曝氣量，適時添加鹼度，維持水中pH，提升硝化效能
- 增設廢水處理程序：包括AO等硝化脫硝活性污泥，或其他具類似功能之設施

二、氨氮廢水處理技術

The background of the slide is a collage of images. At the top right, there are several blue solar panels. In the middle left, there is a row of white wind turbines. In the bottom left, there is a two-story house with a porch. In the bottom right, there is a city skyline with several buildings. A large green leaf is superimposed over the city skyline. The overall theme is sustainable energy and environmental protection.

事業廢水含氮物質排放現況

晶圓製造及半導體

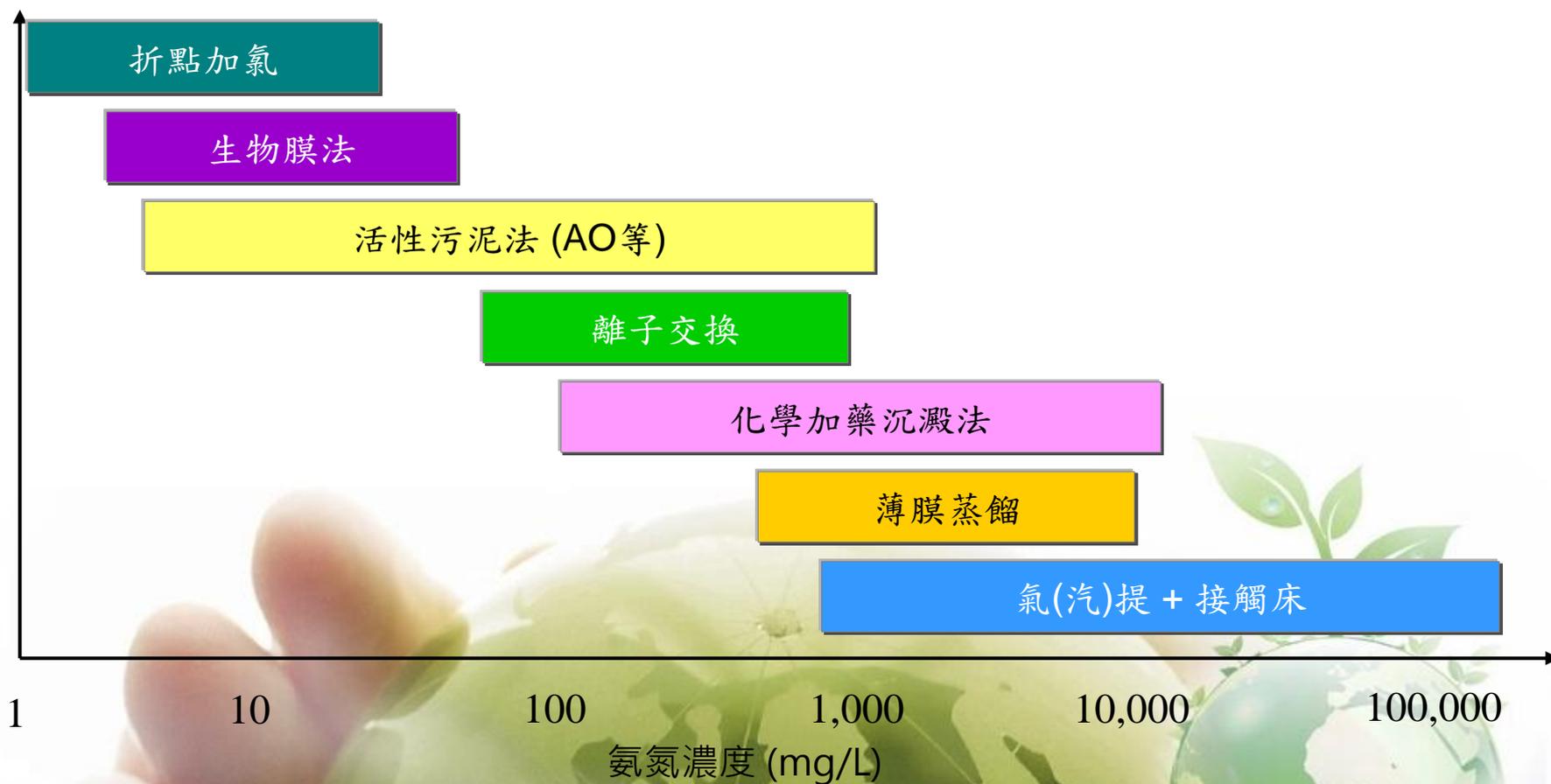
業別	各廠典型排水量 (CMD)	放流水 氨氮濃度 (mg N/L)
晶圓製造 	數千至三萬	0.07~33.9
積體電路 	數千至三萬	0.72~192
封裝測試 	數百(多小於1,000)	ND~5.75

光電業

光電業子業別	各廠典型排水量 (CMD)	放流水 氨氮濃度 (mg N/L)
薄膜電晶體液晶顯示器 (TFT-LCD) 	數千至三萬	0.1~17.1
發光二極體(LED) 	數百(多小於1,000)	0.99~78.6
太陽能電池 	數百(多小於1,000)	15~18.6

業別	TFT-LCD、半導體業	LED
氨氮來源	(1)氨水 (2)顯影劑TMAH (3)蝕刻液氟化銨 (4)去光阻劑MEA	氨氣經洗滌塔處理後轉為高氨氮廢水
改善作法	<ul style="list-style-type: none"> ● TMAH回收 ● 氨水直接濃縮 ● 氨水回收成磷酸銨或硫酸銨 	<ul style="list-style-type: none"> ● 燃燒式洗滌塔處理而無廢水產生 ● 氨氣回收成氨水 ● 氨水回收成磷酸銨或硫酸銨

氨氮廢水處理及回收技術發展趨勢

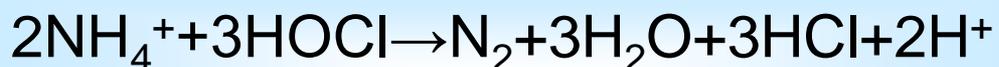


氨氮廢水處理技術評析

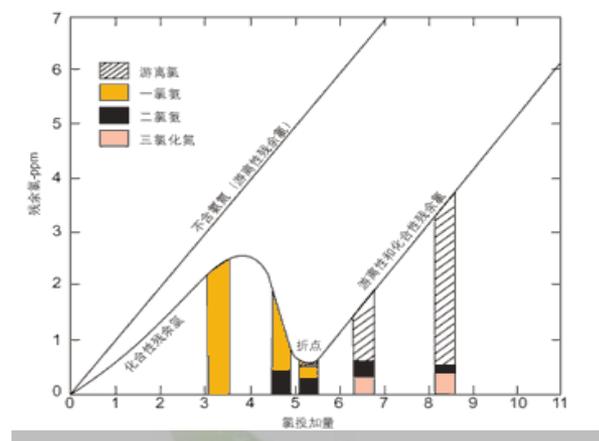
處理技術	優點	缺點	適用範圍
氣提法	<ul style="list-style-type: none"> • 技術簡單 • 投資成本低 • 效果穩定 • 適用範圍廣 	<ul style="list-style-type: none"> • 能源消耗大 • 有二次污染問題 • 僅能去除氨氮 	<ul style="list-style-type: none"> • 適用各種濃度氨氮廢水 • 多用於中、高濃度氨氮廢水
離子交換	<ul style="list-style-type: none"> • 技術簡單 • 操作容易 • 投資成本低 	<ul style="list-style-type: none"> • 樹脂用量大 • 操作成本高 • 再生困難 • 有二次污染問題 	<ul style="list-style-type: none"> • 低濃度氨氮廢水
折點加氯	<ul style="list-style-type: none"> • 除氮效率高 • 投資成本低 	<ul style="list-style-type: none"> • 操作技術需求高 • 操作成本高 • 產生有害氣體 	<ul style="list-style-type: none"> • 適用各種濃度氨氮廢水 • 多用於低濃度氨氮廢水
磷酸銨沉澱法 (MAP)	<ul style="list-style-type: none"> • 技術簡單 • 投資成本低 • 能充份回收氮 	<ul style="list-style-type: none"> • 用藥量大 • 操作成本高 • 操作技術需求高 • 用途有待開發 	<ul style="list-style-type: none"> • 適用各種濃度氨氮廢水 • 多用於高濃度氨氮廢水
薄膜分離	<ul style="list-style-type: none"> • 效果穩定 • 適用範圍廣 	<ul style="list-style-type: none"> • 能源消耗大 • 操作成本高 • 操作技術需求高 	<ul style="list-style-type: none"> • 適用各種濃度氨氮廢水
生物處理 (如A2O)	<ul style="list-style-type: none"> • 除氮效率高 • 可除氮磷 • 適用範圍廣 	<ul style="list-style-type: none"> • 佔地面積大 • 操作技術與硬體需求高 • 可能需外加碳源 	<ul style="list-style-type: none"> • 適用各種濃度氨氮廢水

折點加氯法

- 主要機制為氧化還原，廢水中的氨氮在適當pH時，可與氧化劑如次氯酸鈉反應形成氯氨，再氧化分解為氮氣，而達到脫除的目的



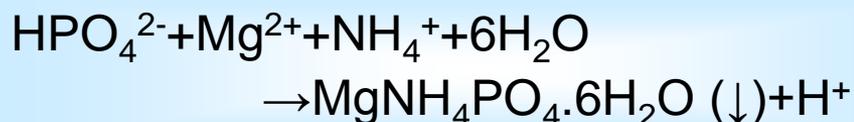
- 廢水pH需維持在4左右，以維持較高的反應效果，反應時間宜控制在30~60分鐘內
- 理論上，氯氮質量比約7.6 : 1，實際添加劑量需達8 : 1或10 : 1
- 由於折點加氯會產生氫離子消耗鹼度，故每處理1 mg/L氨氮，需添加15 mg/L鹼度，因此增加6.6 mg/L溶解固體
- 水中殘餘氯可能影響化學需氧量檢測分析，並對承受水體造成毒性影響



磷酸銨鎂沉澱法

技術說明

- 添加 Mg^{2+} 和 PO_4^{3-} 與銨離子形成難溶**磷酸銨鎂複合鹽類**



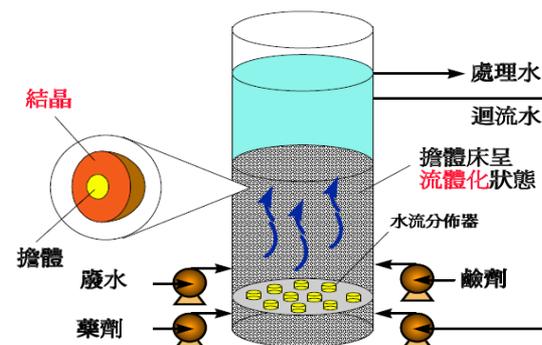
- 磷酸、氨、鎂需維持適當比例，一般而言，鎂：氮：磷的比例約為1.2~1.3：1.0：0.9
- 最適操作pH為8.5，溫度則為25 °C

處理效能

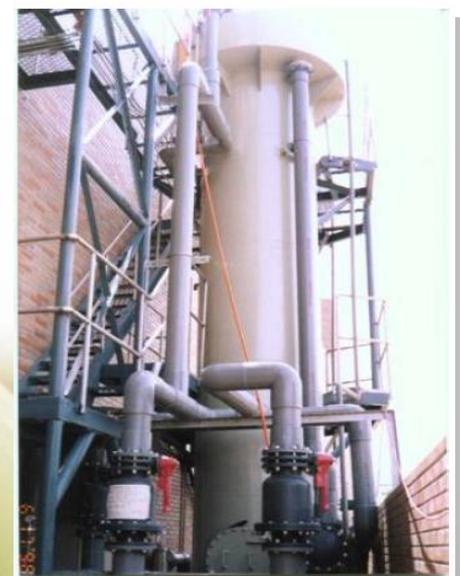
- 適用於各種濃度氨氮廢水
- 可產生含水率低的晶體，易資源化

發展現況

- 已有化工業應用實績
- 藥品耗用量大、操作成本偏高，且磷酸銨鎂雖可作為肥料之原料，惟相關再利用尚有爭議



圖片來源：工研院



氣提法

技術說明

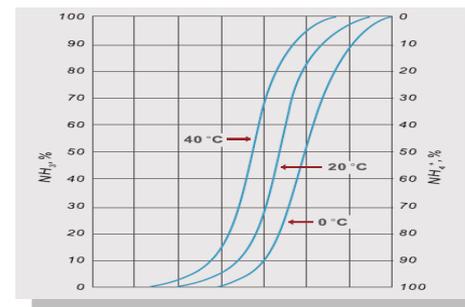
- 👉 調整pH使銨離子以游離氨型態存在
- 👉 以空氣或蒸汽吹脫，使氨氮自水中脫離
- 👉 後端增設洗滌塔，使硫酸與氨氣反應，產出**硫酸銨回收產物**

處理效能

- 👉 適用於各種濃度氨氮廢水，中高濃度者尤佳

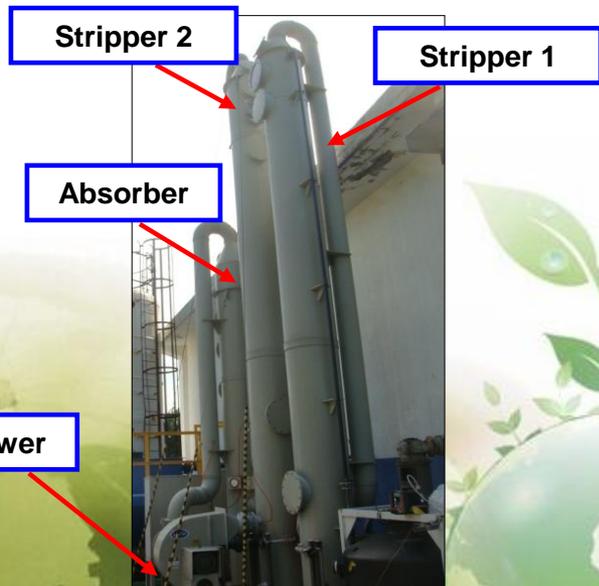
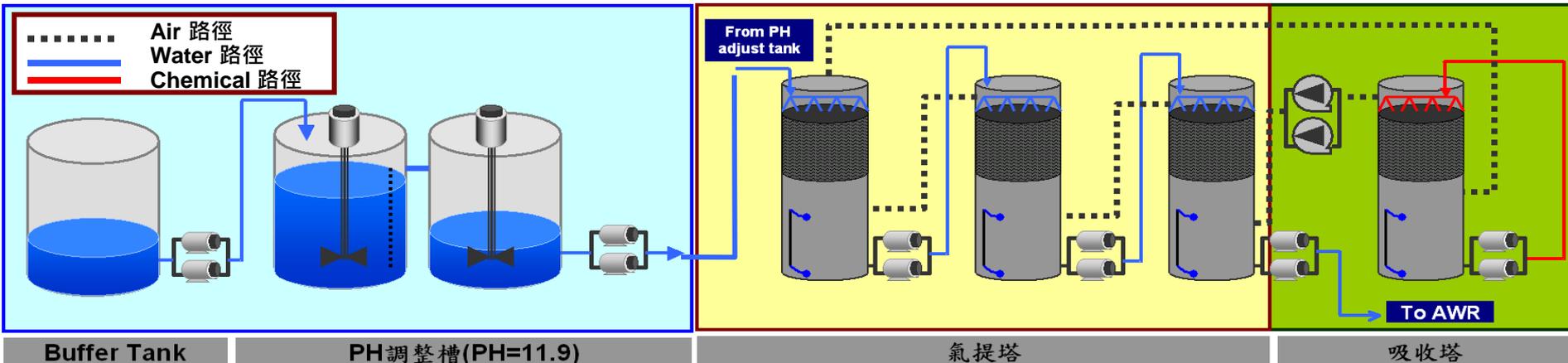
發展現況

- 👉 技術發展成熟，已有多項晶圓製造業及積體電路製造業應用實績
- 👉 硫酸銨雖可作為肥料之原料，惟相關再利用尚有爭議

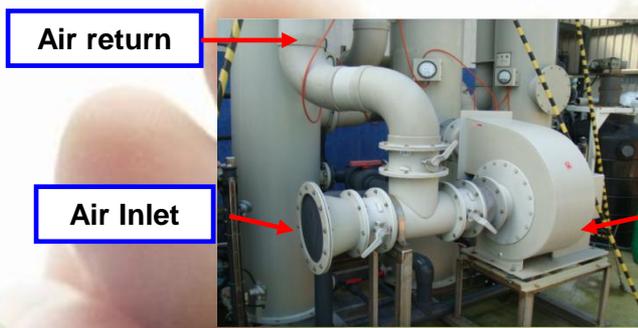


氣提法 (續)

2013年11月13日

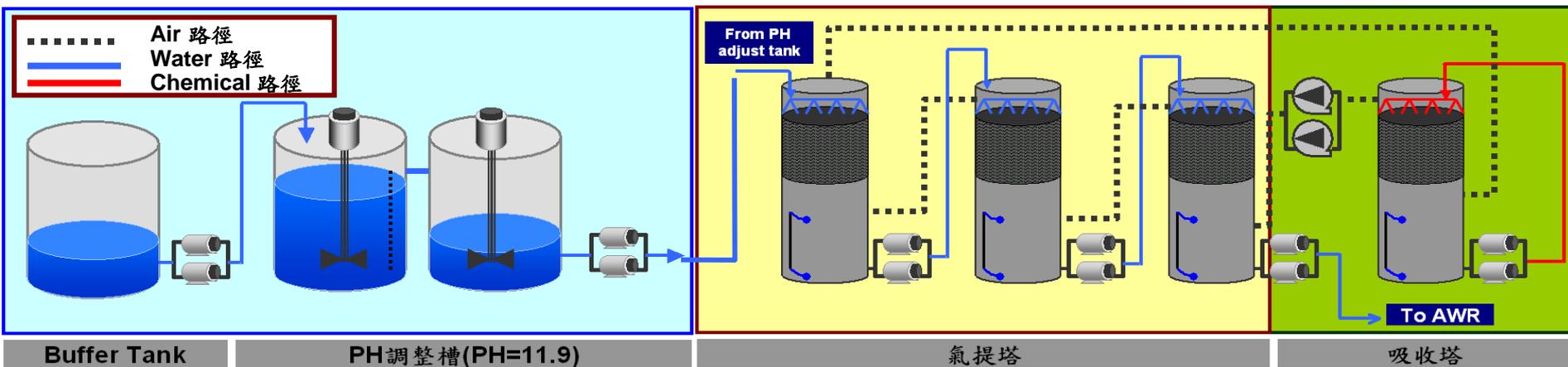


以硫酸、磷酸、純水作為吸收介質

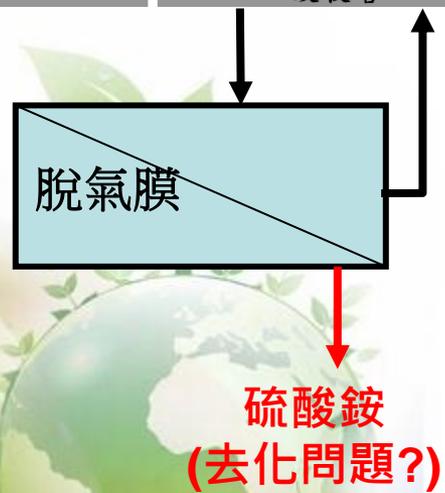


氣提法 (續)

2013/10/15 16:26



	Stream 1	Stream 2	Stream 3	Stream 4
出水NH ₃ -N	~140 mg/L	~90 mg/L	~100 mg/L	~100 mg/L
進水NH ₃ -N	800~1,000 mg/L	< 600 mg/L	600~800 mg/L	600~800 mg/L



氣提法 + 薄膜蒸餾

技術說明

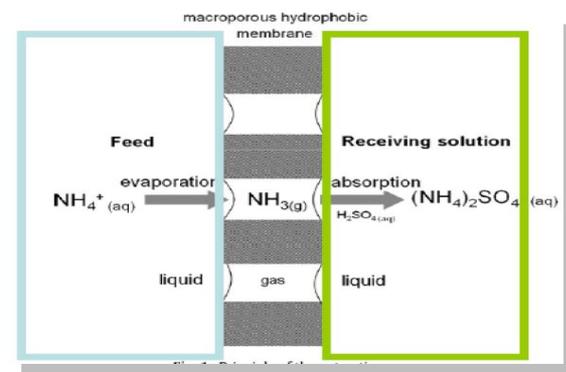
- 利用溫度差造成蒸汽壓差，驅動高溫側溶液以氣體分子的形式通過薄膜孔洞並於低溫處凝結，達到分離的目的
- 可配合氣提法強化效果

處理效能

- 適用於各種濃度氨氮廢水，對中高濃度者去除率尤佳
- 可回收高純度氨水再利用
- 相較於逆滲透系統，由於薄膜蒸餾的操作壓力低，因此結垢問題較輕微

發展現況

- 已有小規模商業化模組設備，尚無大型應用實績
- 薄膜材料及效能尚待研發與提升



離子交換法

技術說明

- ☞ 係一可逆的反應過程，一般採用天然沸石作為離子交換劑，利用沸石之陽離子與廢水中的銨離子交換，達到脫氮的目的，1 g沸石約可吸附 16 mg氨氮
- ☞ 利用離子交換樹脂上的陽離子和水中的TMAH進行交換反應
- ☞ 利用鹽酸再生陽離子樹脂，再生液再通過陰離子交換樹脂可**產出TMAH回收產物**

處理效能

- ☞ 利用二段式陽陰離子交換樹脂組合，可有效純化廢水中TMAH，回收率可達70%

應用現況

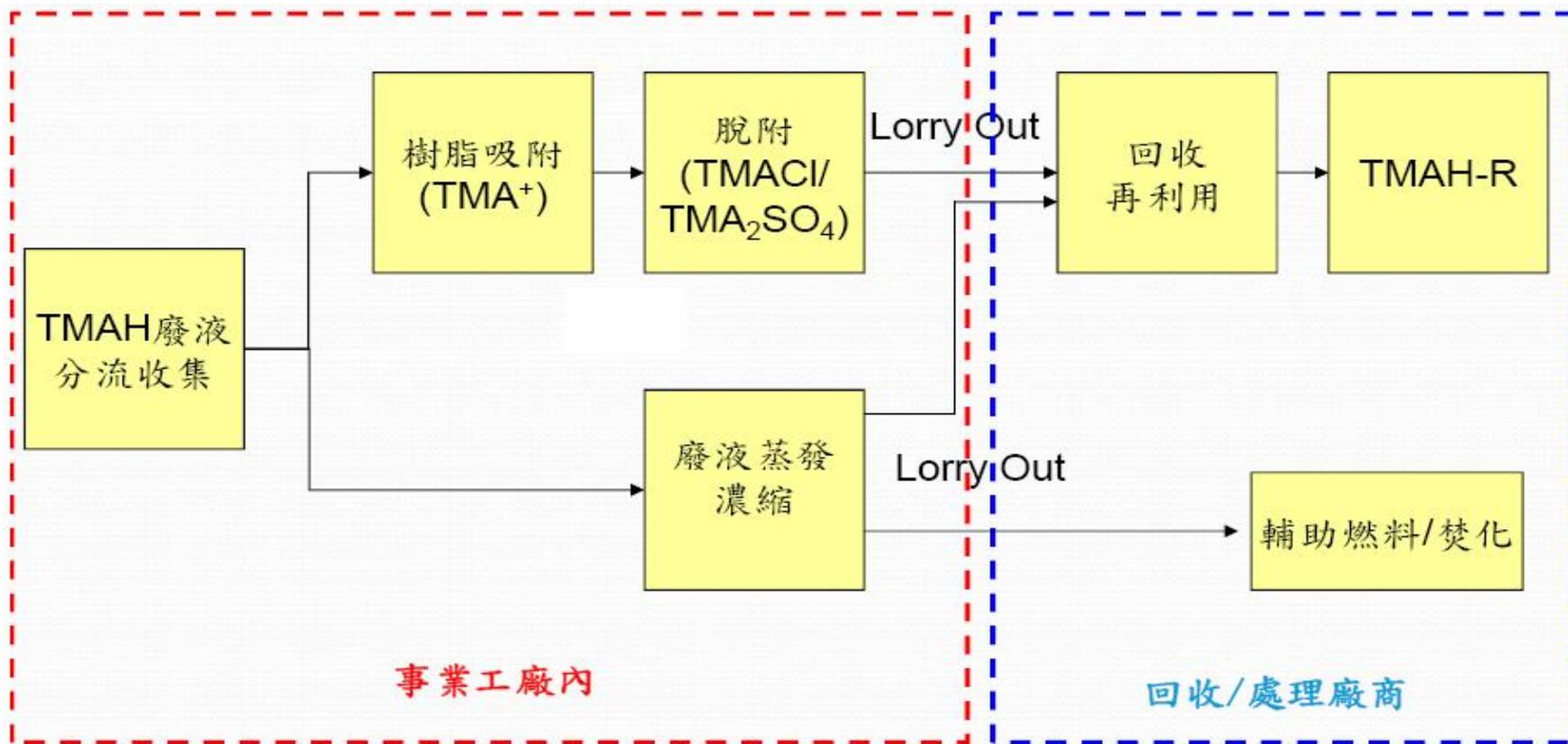
- ☞ 國內數家積體電路製造業已設有TMAH回收系統



本法亦可應用於銻、鎘、鉍之去除，惟需尋求合適之離子交換樹脂

離子交換法 (續)

氨氮物化處理技術實廠應用經驗



離子交換法 (續)

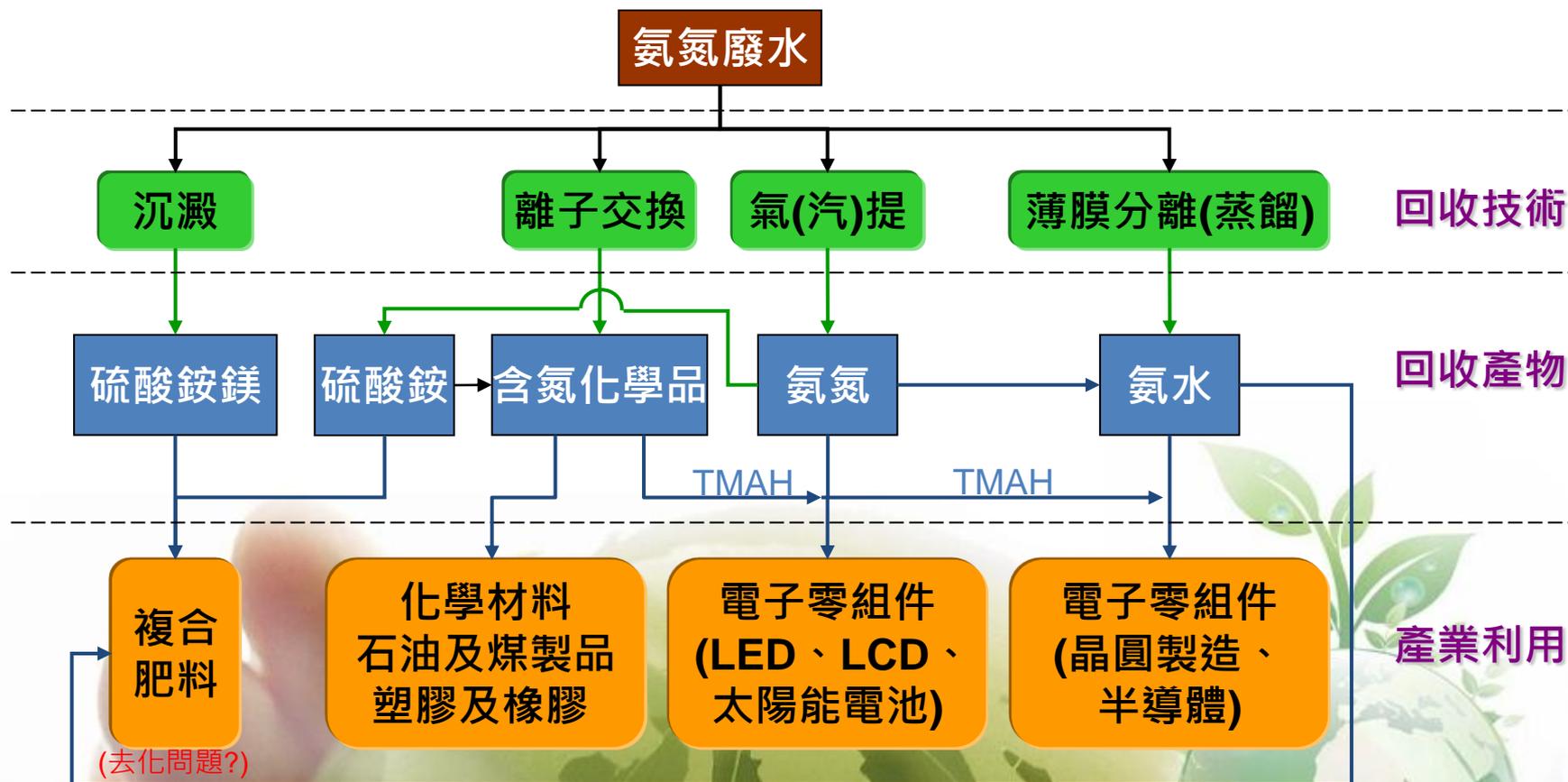
經濟部TMAH個案再利用

事業	長春苗栗二廠	三福
廢棄物名稱	(D-1504)氯化四甲基銨鹽廢液	(C-0202)TMA離子液(四甲基銨鹽) (C-0202)四甲基銨硫酸鹽
總許可量 (公噸/月)	9,150	3,887
尚餘許可量 (公噸/月)	8,400	--
再利用用途	半導體、LCD、LED產業顯影製程用顯影劑、工業級溶劑	

離子交換法 (續)

廠商	長春	三福	皓科	
國內/外	國內	國內	國外(國內尚無工廠)	國內(有設備組裝廠)
處理技術	1.陽樹脂吸附TMA ⁺ 2.HCl再生脫附TMACl 3.電透析還原為TMAH-R	1.先裝NF去光阻 2.陽樹脂吸附TMA ⁺ 3.H ₂ SO ₄ 再生脫附TMA ₂ SO ₄ 4.電透析還原為TMAH-R	樹脂吸附 (HCl/H ₂ SO ₄ /強鹼)	蒸發濃縮
衍生廢棄物	無	無	無	TMAH濃縮廢液
有無實績	無	有	有	有
實績產業別	無	TFT-LCD	TFT-LCD	TFT-LCD
濃縮設備系統限制	界面活性劑：可 光阻劑：可	界面活性劑：可 光阻劑：可	界面活性劑：系統可調整 光阻劑：<2.5%	無
濃縮後廢液型態	10%~12% TMA ⁺	10%~12% TMA ⁺	10%~12% TMA ⁺	10%~30%TMAH廢液
衍生問題	1.TMAH-R 去化及通路 2.TMAH-R 價格較新液高	無	TMAH-R 去化及通路	TMAH濃縮液去化 (水泥廠輔助燃料、焚化..)

物化處理回收產物再利用管道



生物處理法 (AO或A2O)

- 利用微生物於好氧與無氧組合程序中，除分解水中含碳物質外，亦可將含氮物質分解為無害之氮氣
- 系統的好氧槽，係將進流中的氨氮及有機氮氨化成的氨氮，通過生物硝化作用，轉化成硝酸鹽

硝化菌適合生長溫度為20~35 °C，溶氧濃度在2 mg/L以上，有利硝化作用。一般在低碳氮比條件下，較利其生長



- 在缺氧段，脫硝菌利用厭氧槽進流之碳源，將硝酸鹽進行脫硝作用產生氮氣，從而達到除氮的目的

脫硝菌適合生長溫度為15~30 °C，溶氧濃度在0.5 mg/L以下，有利脫硝作用。一般在高碳氮比條件下，較利其生長

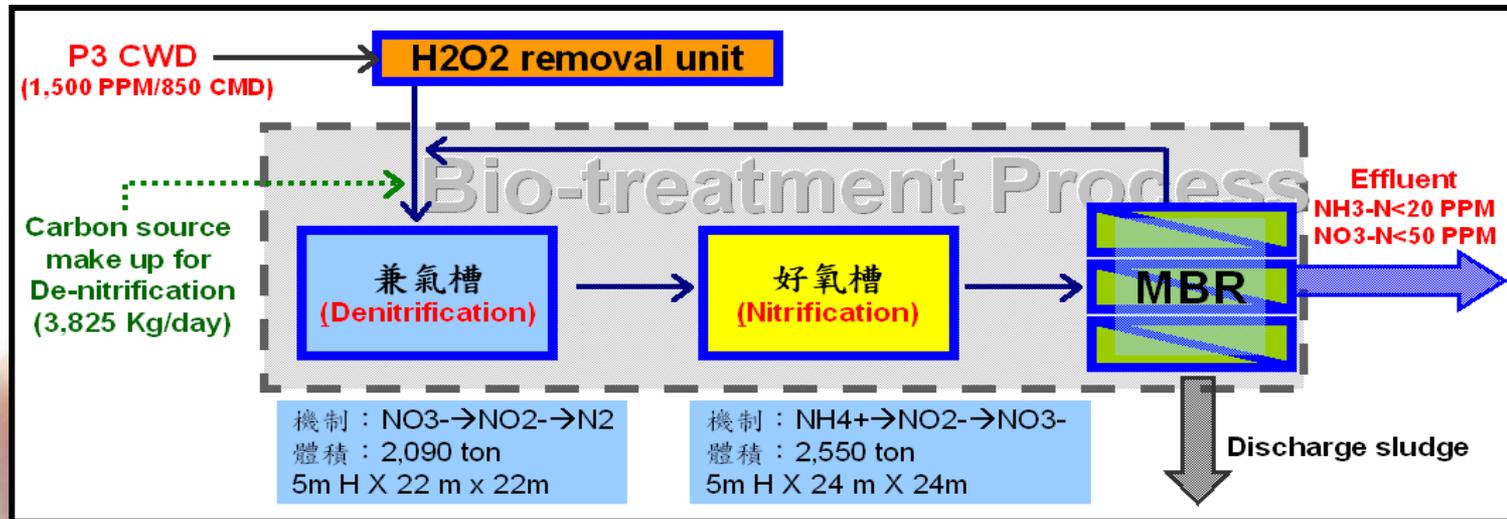


生物處理法 (AO或A2O) (續)

- 應用最廣之生物廢水處理程序為硝化脫硝(Anoxic and Oxidation, AO)法，或串聯之AOAO, AAO, OAO等法

主要硝化反應： $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO}_3^-$

主要脫硝反應： $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{N}_2$



生物處理法 (AO或A2O) (續)

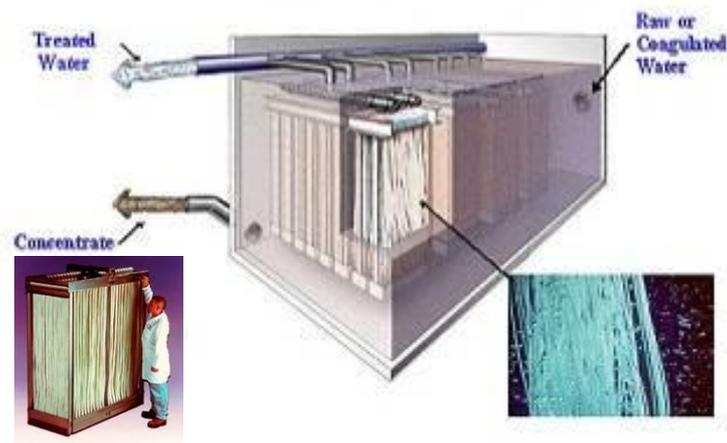
🌈 薄膜生物反應器 (MBR)

- 👉 包含曝氣槽 (生物反應) 與二沉池 (固液分離) 之功能
- 👉 藉由薄膜阻攔，可提高生物處理單元內污泥濃度，提升處理效能；經微/超濾膜之過濾後，產水內已無懸浮固體
- 👉 可濃縮污泥而節省二沉池空間，轉作裝設再生水設備之用地，適合用在缺乏用地的廢污水處理廠
- 👉 透過薄膜可有效延長SRT，有利於硝化

🌈 型式

- 👉 依薄膜所在位置分成沉浸式 (薄膜浸在曝氣池的污泥中) 與外掛式 (薄膜在曝氣池之外)

ZeeWeed® Process



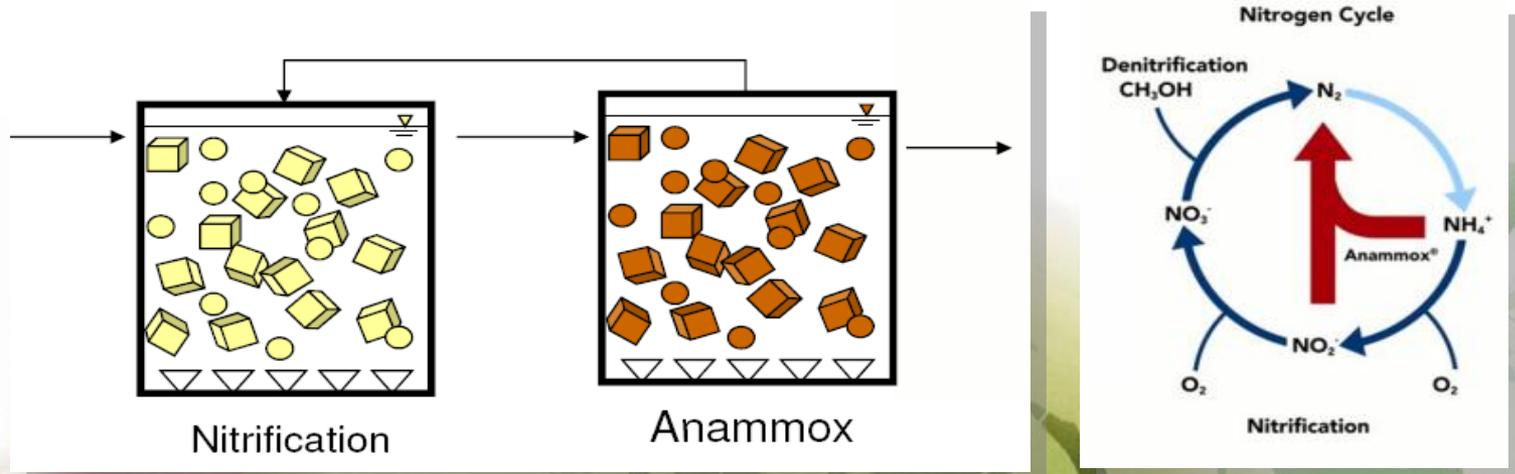
2005/02/28

Anammox法

- ❁ 氨氮經過半硝化反應槽後，轉換為亞硝酸氮
- ❁ 亞硝酸氮與氨氮產生厭氧氨氧化反應，產生氮氣，自水中移除



- ❁ 氨氮去除率可達80~85%，硝酸鹽氮去除率約80~90%，總氮去除率可達75%



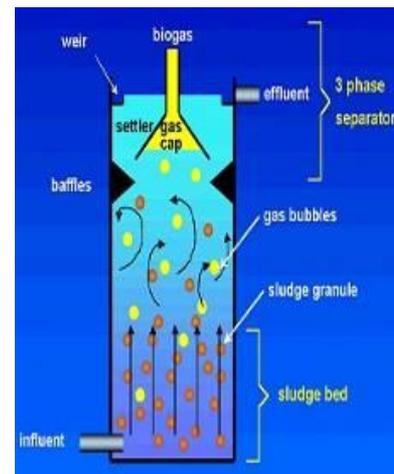
Anammox法 (續)

優點

- 至少可節省**25%**曝氣量，減低能源消耗，節省操作成本
- 反應體積減少**50%**，初設成本低
- 不需額外添加碳源，適合處理高科技廠廢水
- 配合薄膜單元運用，可增加水回收量

缺點

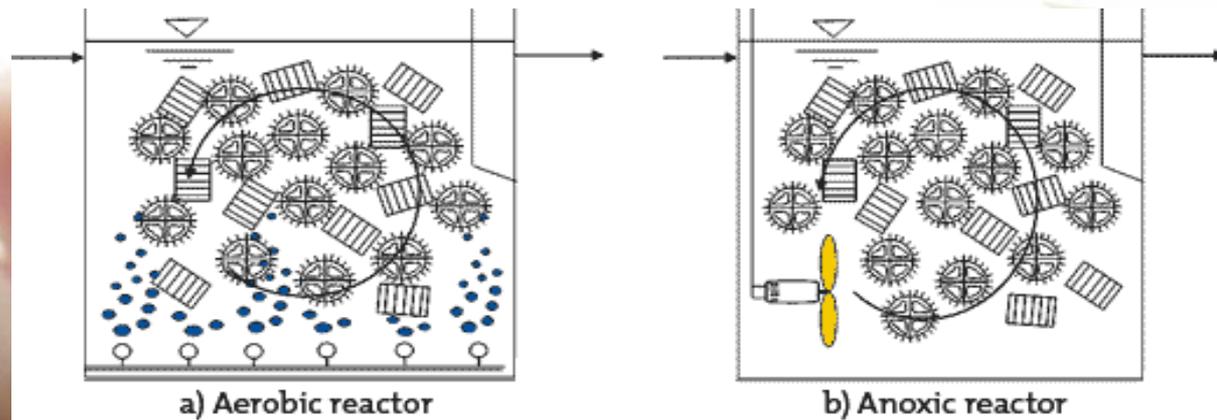
- 屬自營菌，生長緩慢，需較長的啟動時間
- 絕對厭氧，需去除氧氣
- 需亞硝酸鹽氮共同參與反應，故前處理之反應條件需嚴格控制



MBBR

❁ MBBR (Moving Bed Bio-film Reactor，流動床式生物膜廢水處理系統)

- ❁ 於生物槽中投入接觸材，此接觸材之填充率可達**67%**，可在好氧操作下以空氣攪拌，或在兼/厭氧操作下以機械攪拌，使生物接觸材在水中均勻的懸浮流動
- ❁ 運用生物膜法的基本原理，結合了懸浮性活性污泥法的優點，兼具去除有機物及脫氮除磷之效果



MBBR (續)

🌈 技術核心

- 📄 比重較水微輕、可懸浮於污水中的PE的生物接觸材，具有廣大的表面積，提供微生物最適的生長環境

🌈 技術規格及特性

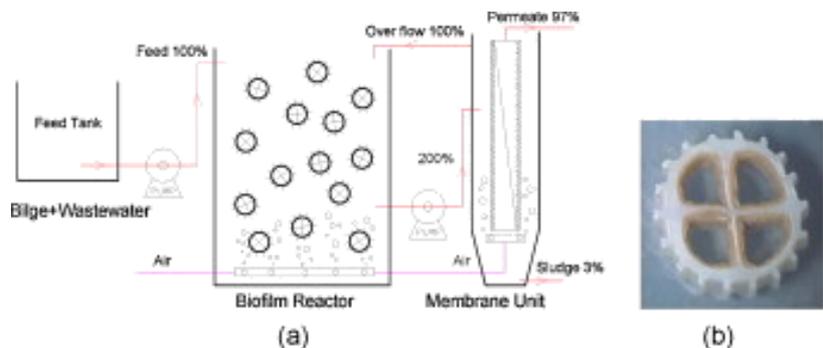
- 📄 總體表面積：800 m²/m³
- 📄 有效體表面積：500 m²/m³
- 📄 傳氧效率：8.5 g/Nm³.m
- 📄 硝化效率：400 g NH₄-N/m³.d
- 📄 脫硝效率：670 g NO_x-N/m³.d
- 📄 BOD₅氧化效率：6,000 g BOD₅/m³.d (去除率可大於80%)



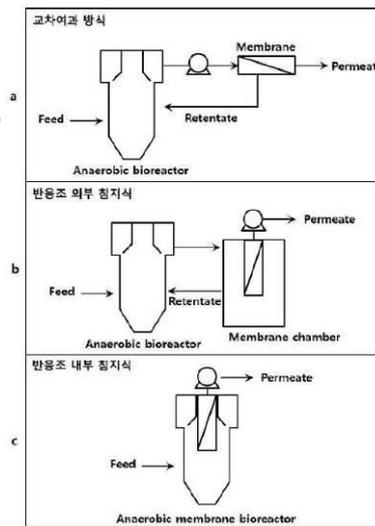
挪威卡尼茲 (Kaldnes)
公司開發

各類生物處理法與薄膜之結合

生物膜(Biofilm)



UASB (上流厭氧污泥) 或 AFMBR (厭氧流化床)



厭氧氨氧化菌 (Anammox)



微藻培養 (Chlorella)



- ① 曝氣源
- ② 曝氣裝置
- ③ 可分離清洗光照裝置
- ④ 過濾薄膜
- ⑤ MBR1進水補充桶
- ⑥ MBR2進水補充桶
- ⑦ 反沖洗水儲桶
- ⑧ 人機控制介面

中華民國專利第M455723號

發明專利105年
1月22日核定

事業廢水氨氮來源與可行之改善措施

產業類型		氨氮來源	可行之改善措施	
高科技	半導體、光電 (LCD)	氨水、顯影劑 TMAH、蝕刻液 氟化銨、去光阻劑MEA等	處理	<ul style="list-style-type: none"> □ 生物法 (AO、MBR等) □ 物化法 (氨水轉換為氨氣採觸媒燃燒)
			回收	<ul style="list-style-type: none"> □ TMAH回收 □ 氨水直接濃縮 □ 氨水回收成磷酸銨或硫酸銨
	光電 (LED)	氨氣經洗滌塔處理後轉為高氨氮廢水	處理	<ul style="list-style-type: none"> □ 觸媒燃燒處理
石化	石化	三氟化氮、己內醯胺、ABS樹脂、硫酸銨等	處理	<ul style="list-style-type: none"> □ 生物法 (AO、MBR等) □ 氣提後氨氣再經觸媒裂解
			回收	<ul style="list-style-type: none"> □ 氣提後經吸收塔製成氨水
	化工	肥料、偶氮染料、煉焦、硫酸銨等	回收	<ul style="list-style-type: none"> □ 氣提後經吸收塔製成氨水

事業廢水氨氮污染改善案例

半導體業

氨氮廢水RO濃縮、氣液分離器
和氨氣觸媒電熱氧化



- ◆ 熱處理後NO_x濃度低於MDL，氨氣濃度10 mg/L以下(一般為1~2 mg/L)，因廠內其他股廢水仍含有氨氮，納管水濃度介於20~40 mg/L

TMAH廢水
陽離子交換樹脂吸附



- ◆ 設計之TMAH濃度為0.5%~0.8%，實際TMAH進流濃度約100 mg/L，處理後可低於5 mg/L

事業廢水氨氮污染改善案例 (續)

半導體業



增設MBR



沉澱池變更為脫硝槽

- ◆ 改善後放流水濃度為36.5 mg/L (已符合第一階段管制限值)
- ◆ 預估削減效益(削減率)為447公噸/年 (82%)

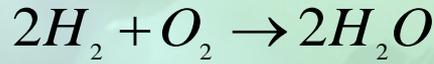
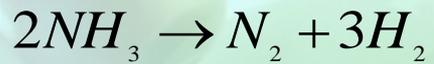
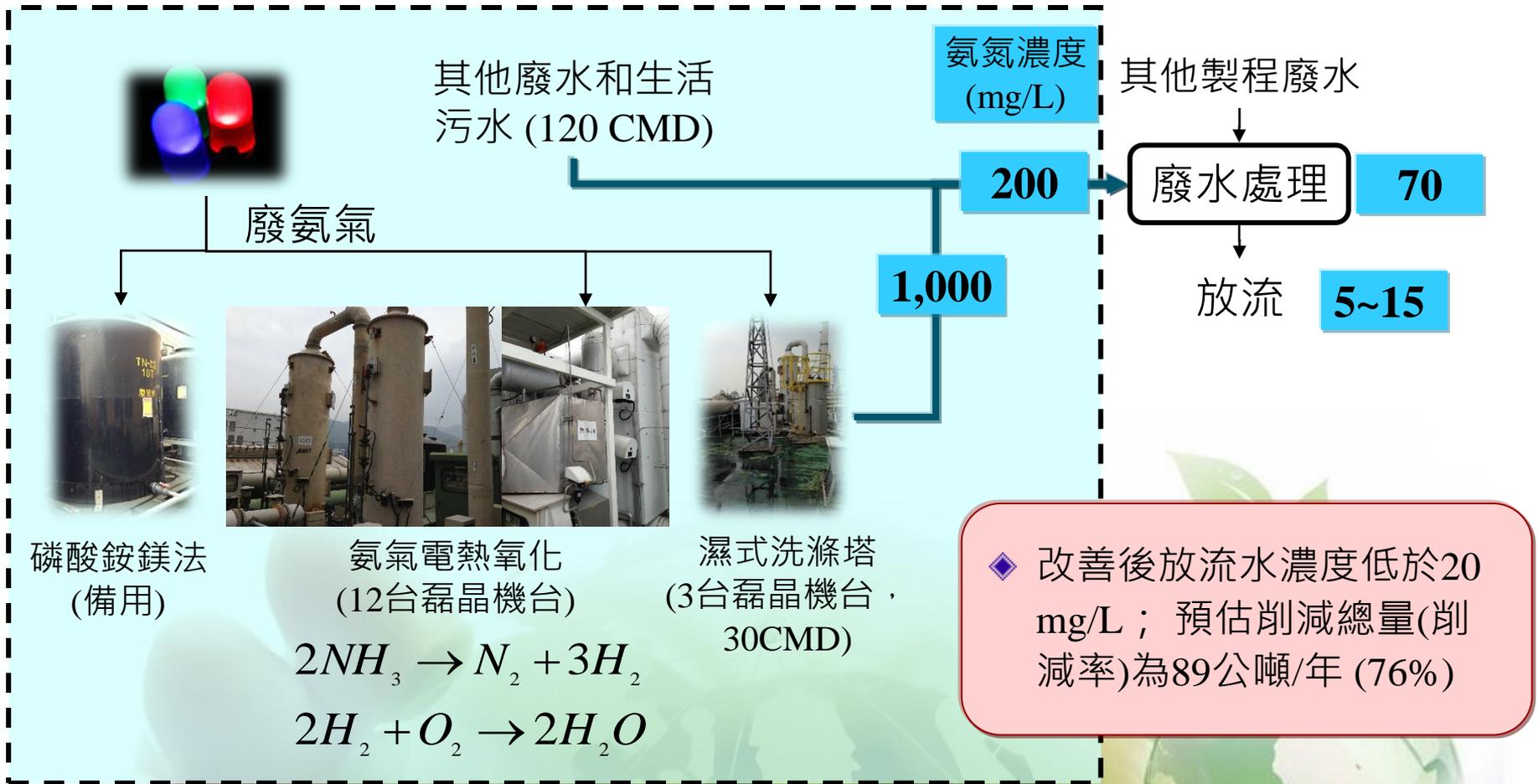


增設AOAO生物處理

- ◆ 改善後放流水濃度為14.6 mg/L (符合第二階段管制限值)
- ◆ 預估削減效益(削減率)為446公噸/年 (89.3%)

事業廢水氨氮污染改善案例 (續)

光電業(LED)



事業廢水氨氮污染改善案例 (續)

科學園區

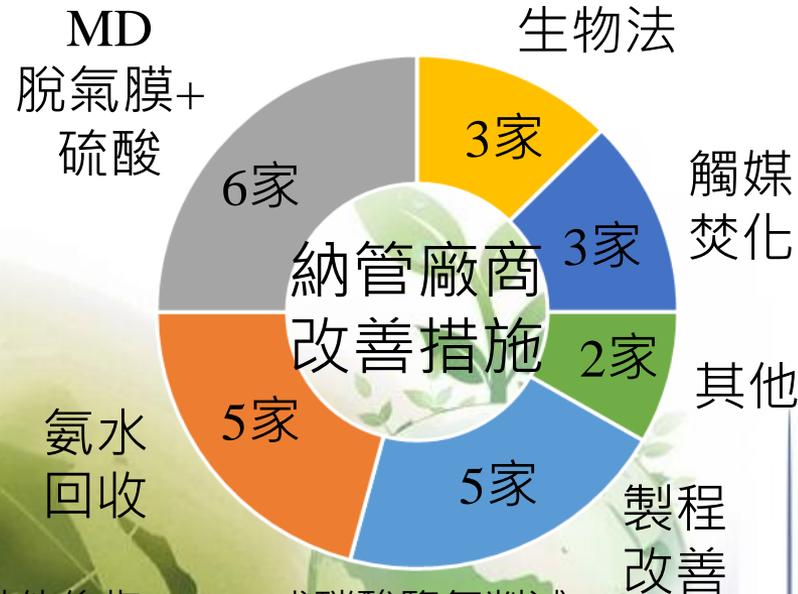
改善措施

- ⊕ 廢水廠：重新檢討生物系統除氮效能，1/2的計處理水量改用活性污泥MBR系統除氮
- ⊕ 納管廠商：已辦理含氮物質回收、減量及陸續增設增設除氮設施

◆ 改善後放流水濃度：43.2~53.2 mg/L (104年1月至6月)

◆ 預估削減總量(削減率)：5,852公噸/年 (79.6%)

廢水廠工程改善



*其他係指TMAH或硝酸鹽氮削減

事業廢水氨氮污染改善案例 (續)

科學園區



◆ 改善措施與進度

- ⊕ 廢水廠：A2O (去除率65%)，第一期工程近完工
- ⊕ 納管LED廠：已增設10台電熱式燃燒設備，其他機台將以氨水回收設備處理
- ◆ 改善後放流水濃度為 19.7 mg/L(103年11月)
- ◆ 預估削減總量(削減率)： 858公噸/年 (89%)

A2O預定地



◆ 改善措施與進度

- ⊕ 廢水廠：增設A2O，已完成設計，刻正進行審查
- ⊕ 納管半導體廠：增設A2O
- ◆ 改善後放流水濃度：總氮 27.5~40.7 mg/L (104年第一季)
- ◆ 預估削減總量(削減率)：1,016公噸/年 (83%)

事業廢水氨氮污染改善案例 (續)

石化業



- ◆ 強化廢水除氮效能(已有設置缺氧-好氧生物除氮系統)，放流水濃度為2.27 mg/L
- ◆ 預估削減效益(削減率)為977公噸/年 (98%)



硝化池

- ◆ 增設缺氧-好氧生物系統(硬體設施已完成)，目前放流水濃度為122 mg/L(已符合第一階段管制限值)
- ◆ 預估削減效益(削減率)為1,437公噸/年 (89%)

氨氮污染改善措施與成本

- 高科技產業TMAH廢水改善
 - 國內目前有A廠和B廠針對飽和之TMACl進行再生

業別	改善措施	處理水量 (CMD)	設置成本	操作成本
半導體	陽離子交換樹脂吸附	180	8千萬	
光電 (LCD)	陽離子交換樹脂吸附	300	1億	100~200元/噸 (未考慮清運和再生酸液成本)
半導體	陽離子交換樹脂吸附	300	1~2億	300~500元/噸
光電 (LCD)	厭氧	-	3,500萬	-

氨氮污染改善措施與成本 (續)

- 高科技產業氨氮廢水改善

業別	改善措施	處理水量 (CMD)	設置成本	操作成本
半導體	經RO濃縮，再經氣液分離塔和觸媒電熱氧化	700	1.8億	電費700萬/年 藥品費1000萬/年
光電(LED)	觸媒電熱氧化	25 CMM氨氣	750萬	動力費30萬/年 耗材費80萬元/年
	洗滌塔+冷凍硫酸銨提濃		450萬	動力費130萬/年 耗材費40萬元/年
	吸收塔+冷凍氨水提濃		500萬	動力費120萬/年 耗材費50萬元/年
科學園區	增設AO+MBR	5.5萬	8.23億	-
光電(LCD)	厭氧	-	3,500萬	-

氨氮污染改善措施與成本 (續)

- 石化業氨氮廢水改善

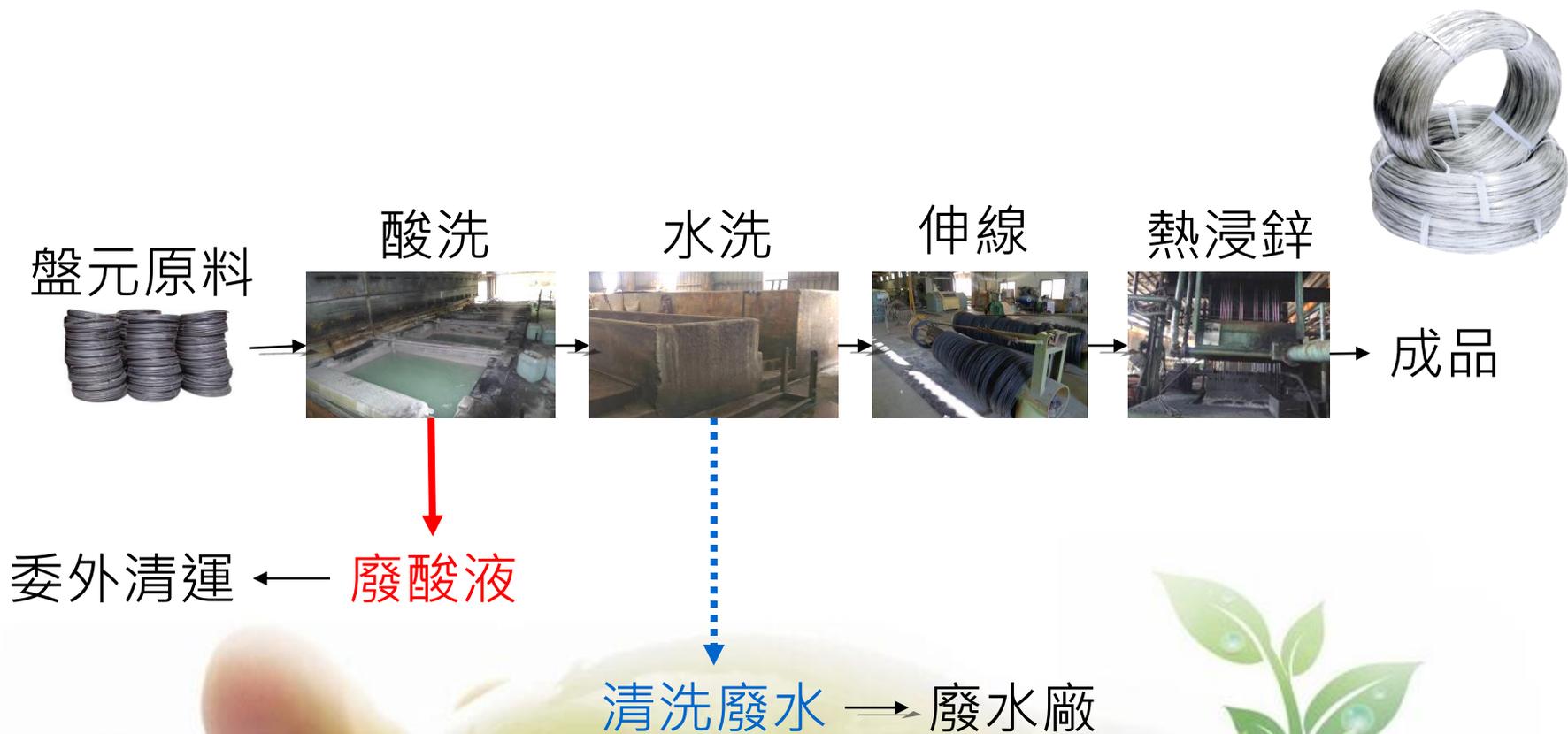
業別	改善措施	處理水量 (CMD)	設置成本	操作成本
石化(液氨)	氣提塔	600	3,400萬	-
石化(ABS樹脂)	AO	15,164.6	-	每噸水35元
石化(ABS樹脂)	AO	4,009	1.5億	-



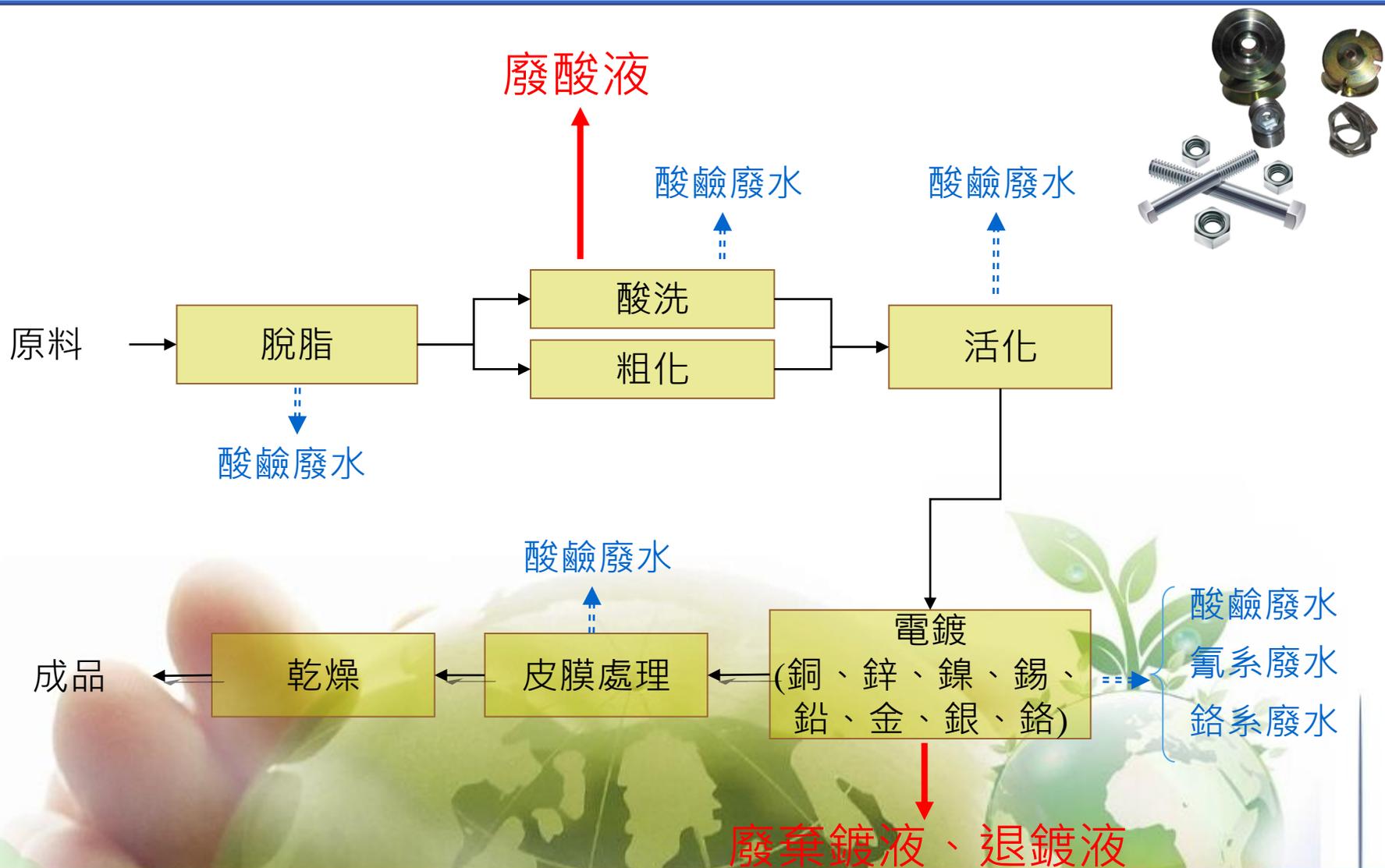


三、重金屬廢水處理技術

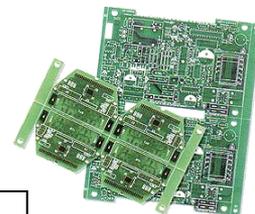
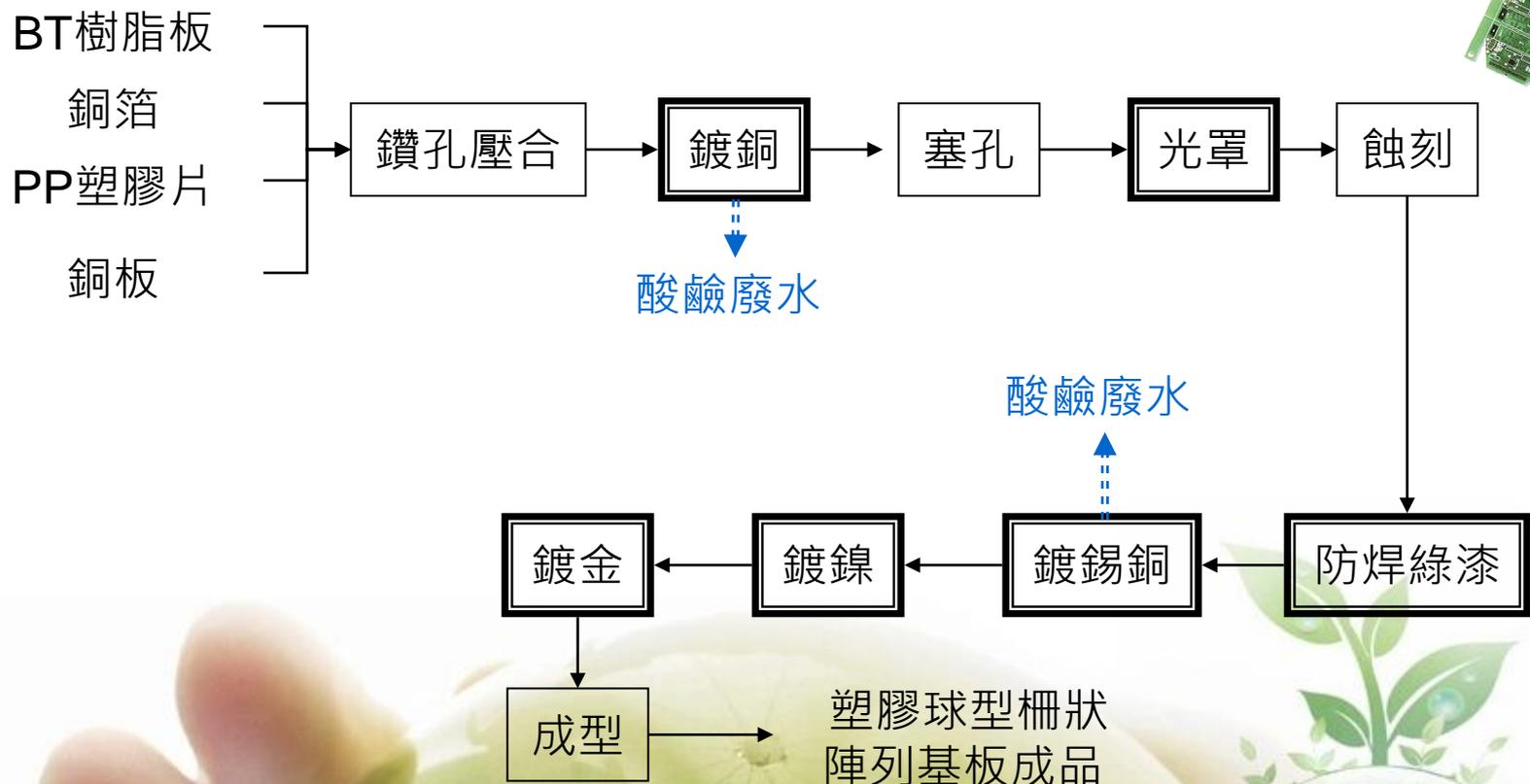
金屬表面處理製程



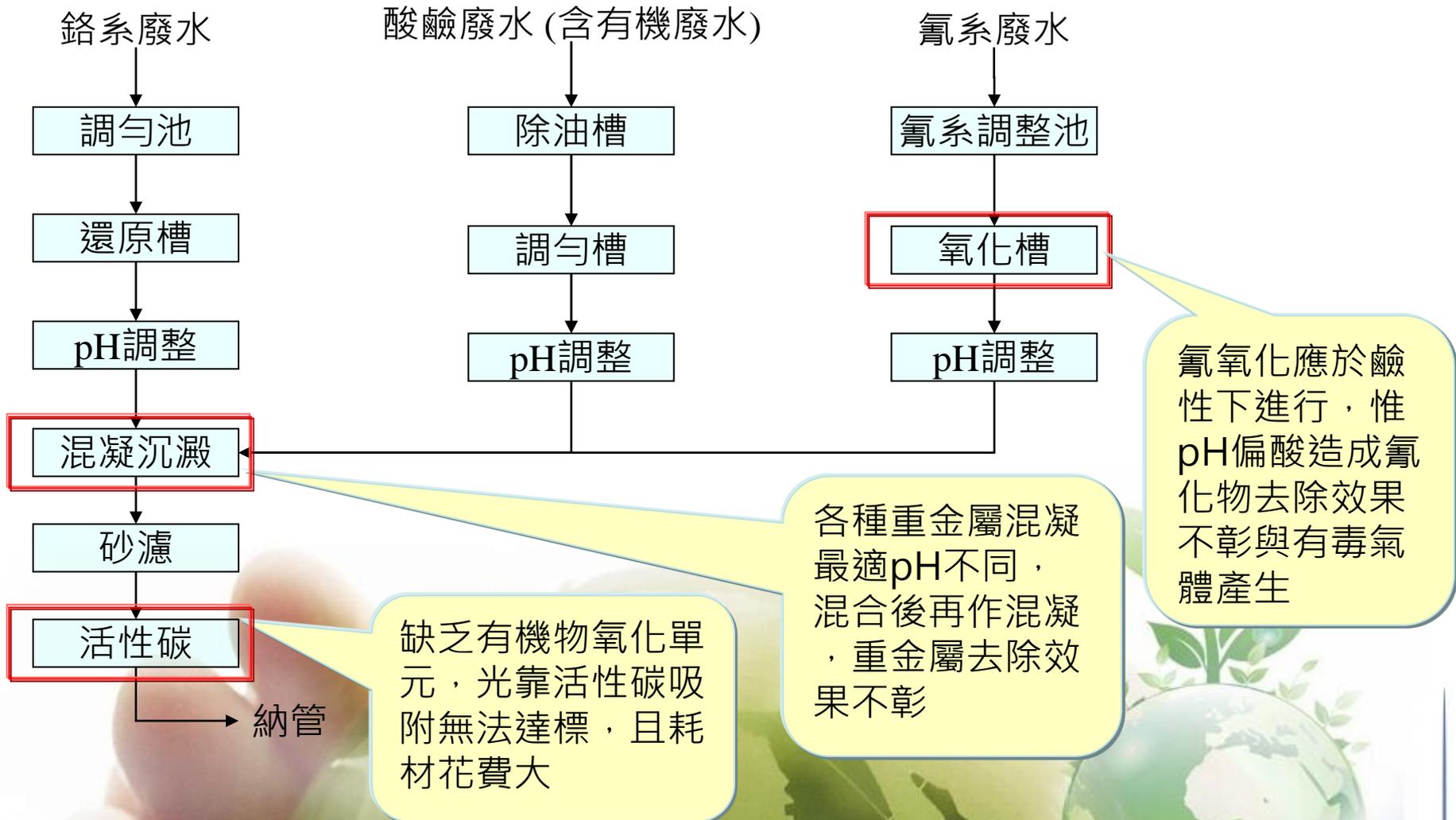
電鍍製程



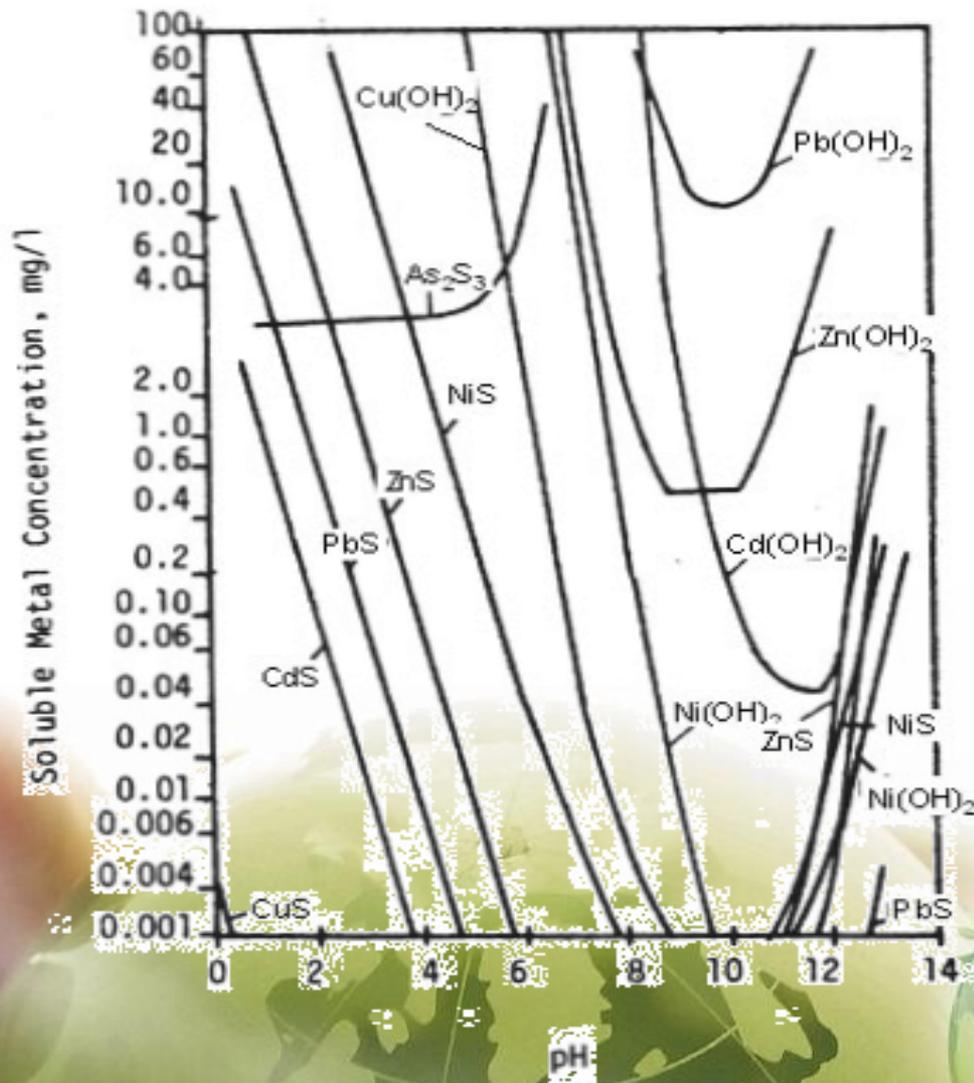
印刷電路板製程



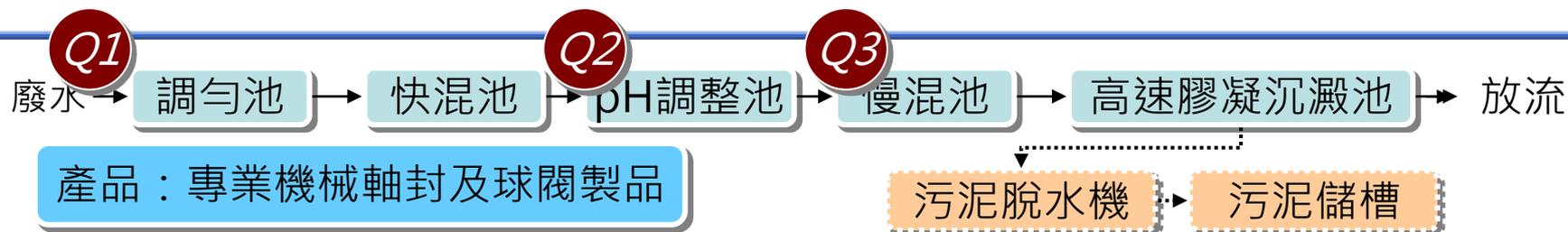
以電鍍業典型廢水處理流程為例



以電鍍業典型廢水處理流程為例(續)



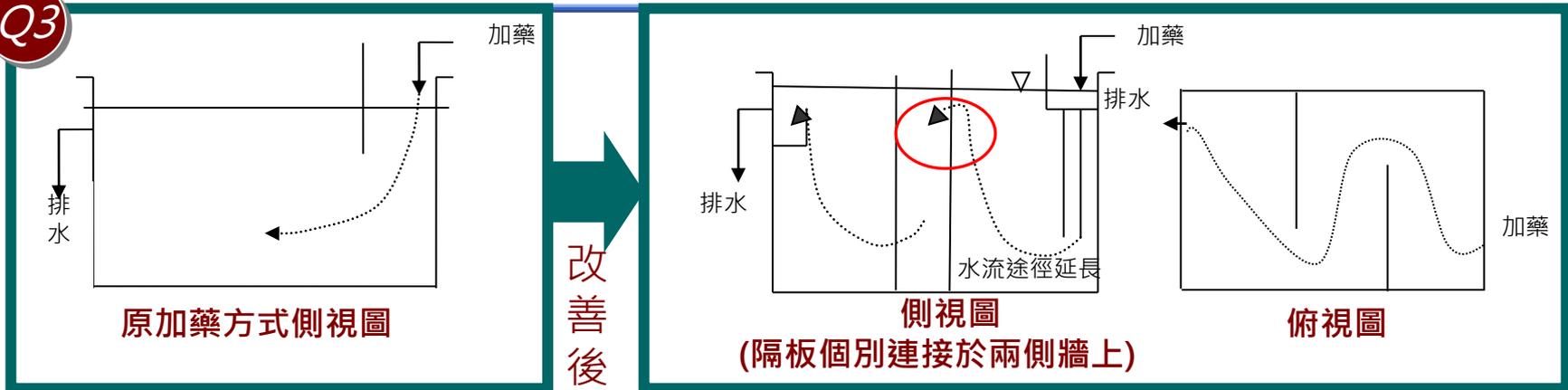
改善案例：電鍍業



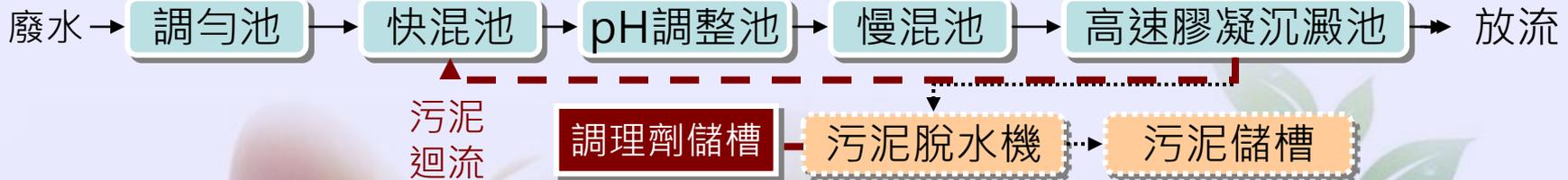
問題	改善建議	效益
Q1 每月月底負荷突增，影響處理效率 (排放1至2噸之鹽酸廢液及高濃度脫脂劑)	<ul style="list-style-type: none"> 增設FRP/PE儲桶收集暫存化成廢酸液 逐日/分批注入調勻池，以免造成水質不穩 	<ul style="list-style-type: none"> 改善污泥特性 降低污泥含水率
Q2 pH調整池控制範圍過大 (8.5~10.5) 且曝氣攪拌不均 (藥劑注入管口設置較反應槽水面高)	<ul style="list-style-type: none"> 鋅離子形成氫氧化物膠羽最佳pH值為8.5~9.5，pH調整池操作於合適之pH範圍，定期進行pH計校正 定期清除池底曝氣管線之阻塞，防止短流效應，提昇處理效率 	<ul style="list-style-type: none"> 可減少鹼劑加入量 減少污泥產生量
Q3 慢混池速度坡降 (G 值) 偏低 (15~17)，且反應時間不足 (慢混池加藥口對角線直接設計溢流口，致流速高於合理值 (15~60 cm/sec)，加藥後，無足夠時間反應，即出流)	<ul style="list-style-type: none"> 慢混池加裝隔板 (Barrier)，可增加流動距離 (路徑) 及有效體積 (V值)，延長膠羽生成時間，並使該單元於預先設計G值下操作 (20~80) 	<ul style="list-style-type: none"> 增加污泥沉降及膠羽密度 增加污泥脫水效率 減少體積

改善案例：電鍍業 (續)

Q3

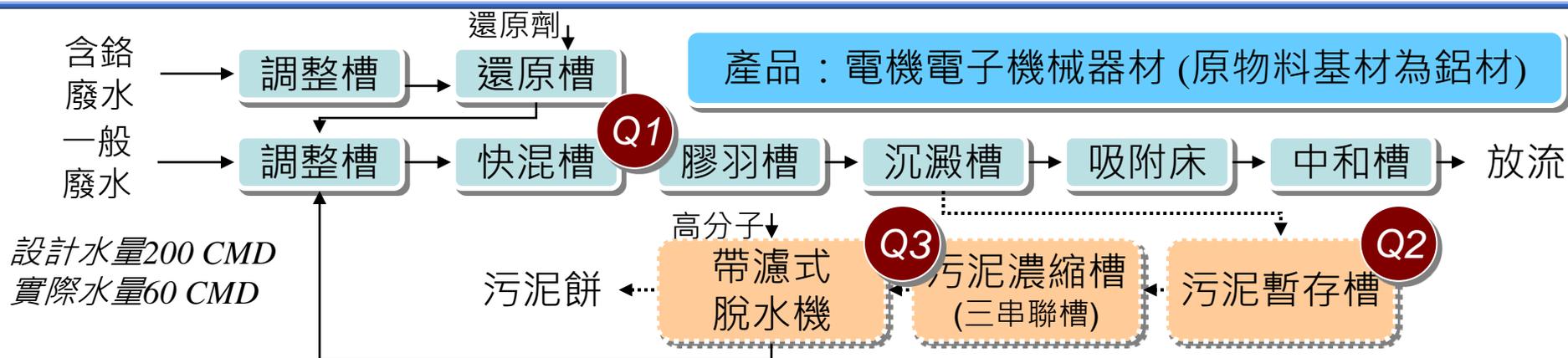


化成酸液
專用儲槽



- ◆ 迴流沉澱池污泥至快混池，作為晶核，藉由足夠之晶核密度，產生較佳成核效果，將未反應完全之高分子混凝劑迴流再利用
- ◆ 有效增加污泥顆粒密度，降低廢水處理成本及污泥產生量；取代部分鹼劑以調整pH值 (迴流污泥為鹼性)，降低液鹼使用量

改善案例：印刷電路板製造業



問題	改善建議	效益
Q1 化混PAC添加量過多，導致污泥量增加	<ul style="list-style-type: none"> 💡 廢水含大量鋁化合物 (具混凝劑功能)，可減少混凝劑PAC添加量 💡 杯瓶試驗顯示，廢水pH值調至8.5，並添加少許高分子凝集劑，可有效使污泥絮凝 	<ul style="list-style-type: none"> 💡 減低污泥產生量 💡 減少藥劑用量
Q2 污泥儲存槽停留時間長產生厭氧現象，致污泥產生臭味且不易脫水	<ul style="list-style-type: none"> 💡 污泥每日排入濃縮槽後，經過一天濃縮，於隔日先以脫水機進行污泥脫水，並於每日處理完畢 💡 添加適量高分子藥劑，可改善污泥餅含水率，唯含水率偏高時，應注意脫水機濾布孔隙是否太密 	<ul style="list-style-type: none"> 💡 減低污泥含水率 💡 減少臭味
Q3 濃縮池以泵浦輸送污泥使濃縮污泥於槽體間因機械力破壞已凝絮的污泥	<ul style="list-style-type: none"> 💡 污水廠實際水量大幅減少，可停用部分濃縮槽，但需有足夠的水力負荷 	<ul style="list-style-type: none"> 💡 減少污泥泵送時破壞污泥結構之情形 💡 減少泵浦動力使用

改善案例：金屬表面處理業

超標項目

☞ 重金屬 (Zn)

☞ COD

主要問題

☞ 除油設備效能不彰，干擾
凝加藥

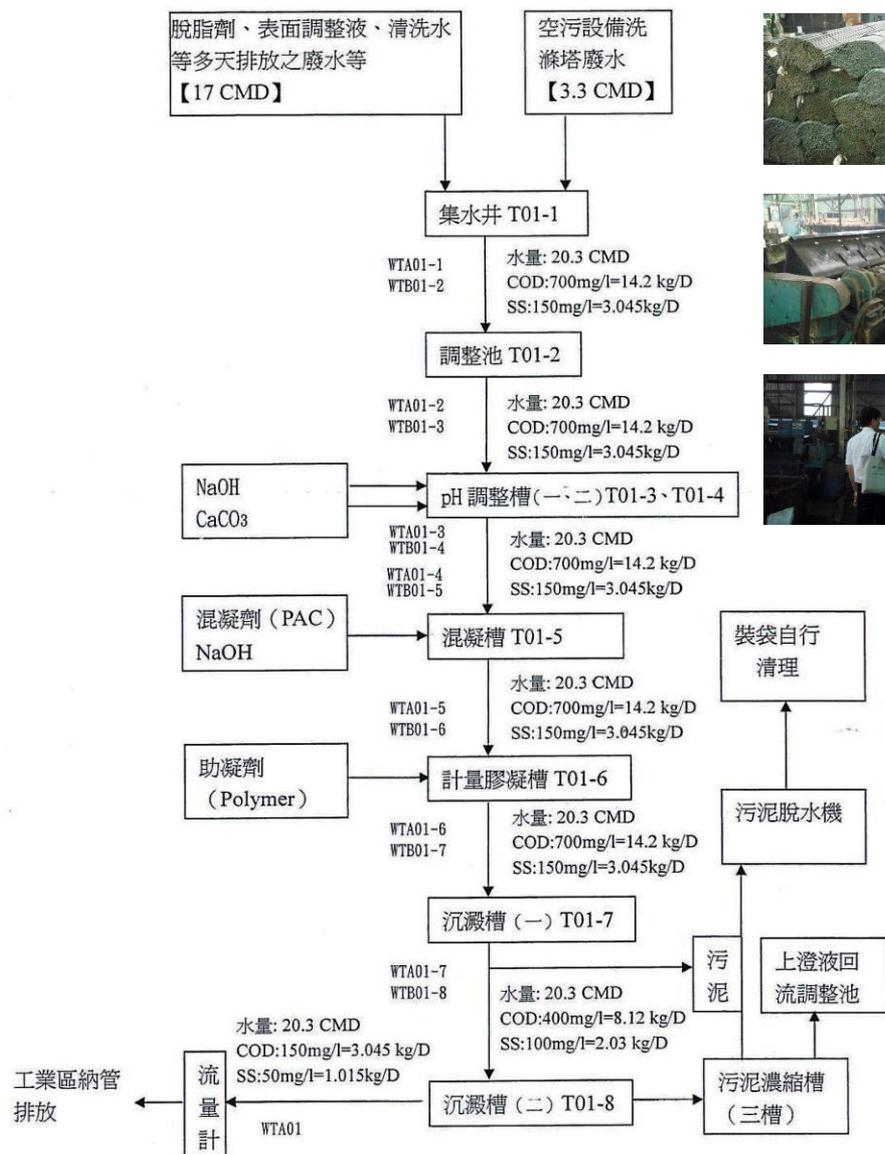
☞ 凝加藥時之pH值偏低
(低於9)

改善建議

☞ 修繕除油設備 (清理設備
除油片)

☞ 加硫酸破乳化後再作除油

☞ 調整凝最適pH (本案約
落於9.5)



改善案例：金屬基本工業

超標項目

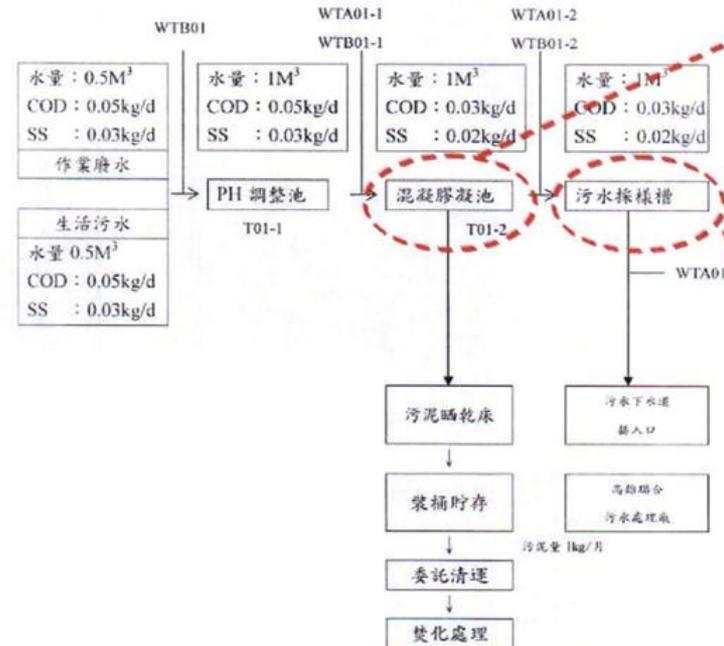
📄 鋅 (Zn)、銅 (Cu)

主要問題

- 📄 混凝效果不彰，經評估為加藥量不足導致
- 📄 沉澱池亦偏小，表面溢流率不足

改善建議

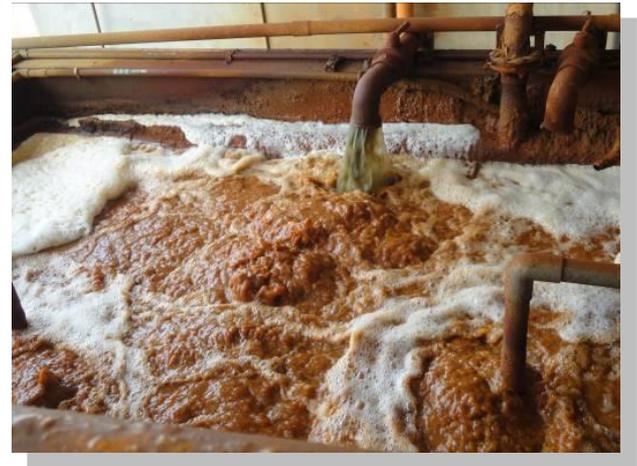
- 📄 重金屬成分混雜，不易如鎳一般覓得再利用業者，而能自源頭減量
- 📄 透過杯瓶試驗，確立適當加藥量
- 📄 確認最適混凝pH位於8.0~8.5間
- 📄 迴流10~20%濃縮污泥至化混槽，提高混凝效率，增加膠羽大小



離子交換樹脂源頭回收

🌈 離子交換樹脂相對於傳統混凝沉澱處理重金屬廢水之優勢

- 📄 對重金屬吸附力強且選擇性高
- 📄 產水可符合灌溉用水水質標準，降低重金屬累積於土壤之潛勢，產水或可進一步回收
- 📄 大幅減少重金屬污泥之產生
- 📄 大幅減少重金屬混凝沉澱所需之藥劑（液鹼與聚氯化鋁）
- 📄 可自源頭回收重金屬



離子交換樹脂源頭回收 (續)

項目	鍍程清洗水	混凝沉澱+活性炭	離子交換樹脂	放流水標準	灌溉水標準
銅 (mg/L)	100	0.4 ~ 2.7	0 ~ 0.2	3	0.2
鋅 (mg/L)	150	0.5 ~ 3.8	0.2 ~ 0.3	5	2
鎳 (mg/L)	150	0.3 ~ 0.8	0 ~ 0.1	1	0.2
鉻 (mg/L)	100	0.1 ~ 0.8	0 ~ 0.1	2	0.1
COD (mg/L)	40	15 ~ 30	20 ~ 30 ❌	100	--
Conductivity (μS/cm)	1,000	2,000	1,600 ❌	--	750

❌：不適採用離子交換樹脂處理

離子交換樹脂源頭回收 (續)

❁ 電鍍廠分流不彰導致影響離子交換樹脂吸附效能

- ❁ 離子交換樹脂對於進水要求極高，顆粒物與有機物需極低，不適用於含高SS、油脂和有機物之廢水
- ❁ 電鍍廠往往分流不佳，造成高SS、油脂和有機物流入，嚴重破壞樹脂效能
- ❁ 電鍍廢水經常含有如有機氮系螯合劑等多種穩定劑，致使重金屬無法被離子交換樹脂所吸附
- ❁ 當多種重金屬同時流入，因樹脂對各類重金屬親和力(吸附優先序)不同，親和力較低的金屬(如Ni)將在樹脂飽和前即開始洩漏(breakthrough)，可能造成特定重金屬有超標疑慮
- ❁ 部分酸洗廢水屬強酸性($\text{pH} < 1$)，無法以離子交換樹脂處理

離子交換樹脂源頭回收 (續)

❁ 廠商自行再生飽和樹脂效能不佳

- ❁ 過去均由電鍍廠自行再生，飽和樹脂之重金屬若未全部洗出(再生效率不佳)，樹脂效能會降低，無法再利用
- ❁ 飽和樹脂再生會損耗一部分樹脂，如破碎等，一般在2%~5%之間
- ❁ 樹脂補充成本不貲(每公斤500~700元)，耗損樹脂需以廢棄物處理

❁ 樹脂再生洗出液無處可去

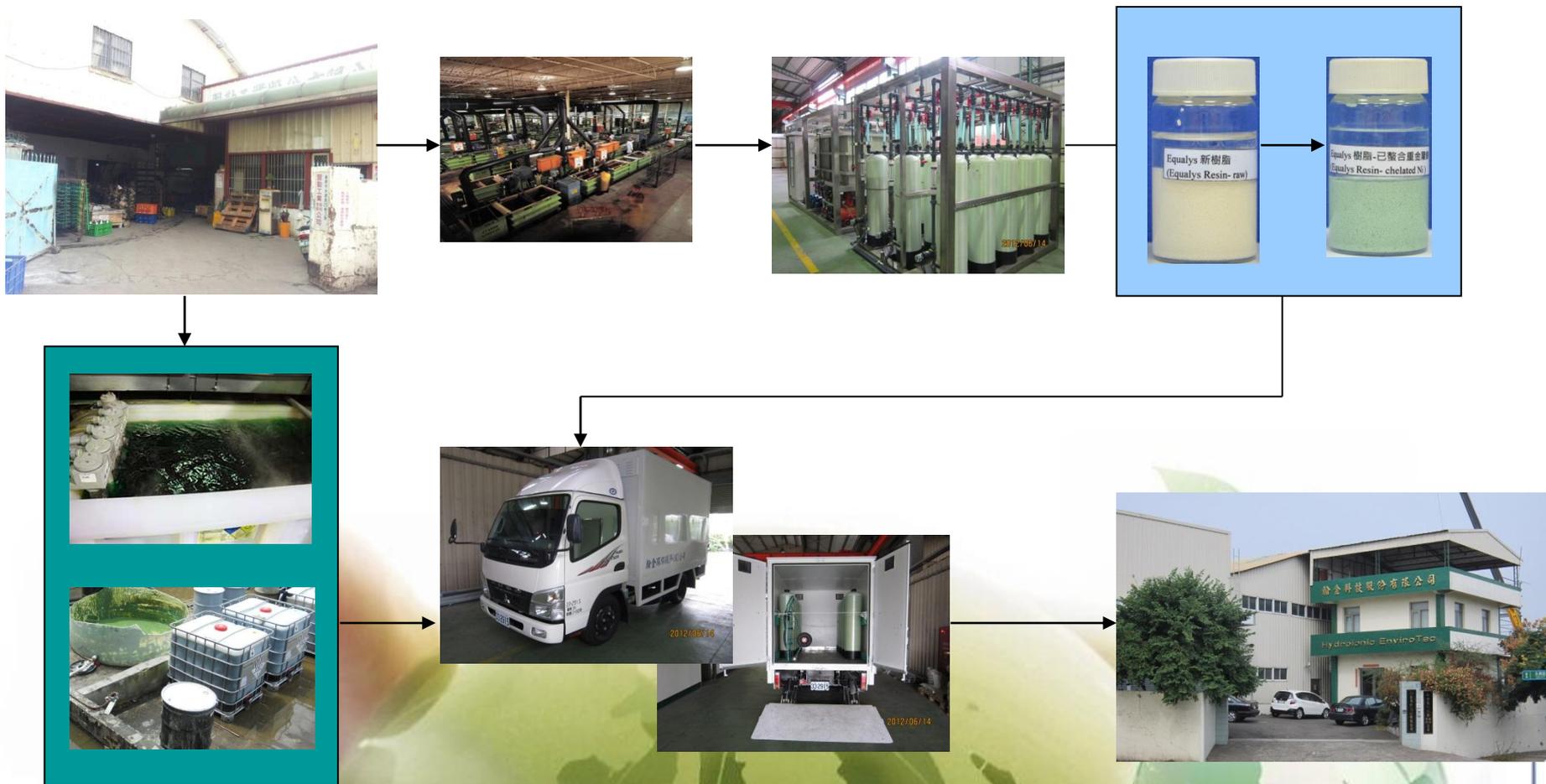
- ❁ 樹脂再生後洗出廢液重金屬濃度(約5,000 mg/L)低於多數再利用機構許可中之允收標準，將出現無處可去之窘態

中央處理廠模式

🌈 國內目前已有回收商已提出改良之「中央處理廠模式」(Central facility) 服務

過去成效不彰原因	中央處理廠模式改良重點
電鍍廠分流不彰導致影響離子交換樹脂吸附效能	於電鍍廠 鍍程清洗水槽旁設置 離子交換樹脂設備， 僅收集清洗水 ，不接觸其他有機廢水，避免遭到污染
廠商自行再生飽和樹脂效能不佳	在樹脂飽和發生貫穿前，即定期將樹脂 收回至中央處理工廠再生 ，同時於電鍍廠端重新充填新樹脂， 電鍍廠無需負擔樹脂再生成本
樹脂再生洗出液無處可去	透過回收商具經濟規模地收集離子交換樹脂，並採 專利技術加以再生 ，可使 再生液濃度大幅提高 （如 50,000 mg/L ），提高重金屬廢液之去化可行性

中央處理廠模式 (續)



中央處理廠模式案例：電鍍業

超標項目

🗑️ 鎳 (Ni)

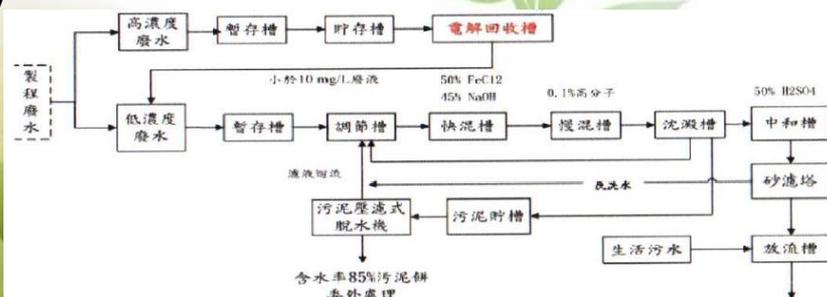
主要問題

- 🗑️ 訂單增加造成廢水負荷增大
- 🗑️ 高濃度含鎳廢液濃度超過5,000 mg/L，既有混凝沉澱池無法負荷

改善建議

- 🗑️ 回收高濃度含鎳廢水
 - 可增設電解回收設備，或增設離子交換樹脂（離子交換樹脂委託專業廠商定期回收再生，將乾淨離子交換樹脂送回廠內）

- 🗑️ 低濃度含鎳廢水（清洗段）
 - 仍採化混沉澱，杯瓶測試顯示不易改善
 - 需增設傾斜板增加沉澱效果



小結

- 🌈 因應農田水利會停止或限制搭排，重金屬達標挑戰最大
- 🌈 混凝沉澱之操作是為關鍵
 - 📄 分流以取得在各種重金屬之最適pH下操作
 - 📄 混凝槽應避免短流，並配合適當之監測
 - 📄 沉澱池設計以充分分離固體物
 - 📄 避免油脂等有機物進入，影響加藥效果
- 🌈 以離子交換樹脂回收低濃度重金屬是為降低後端操作負荷之關鍵



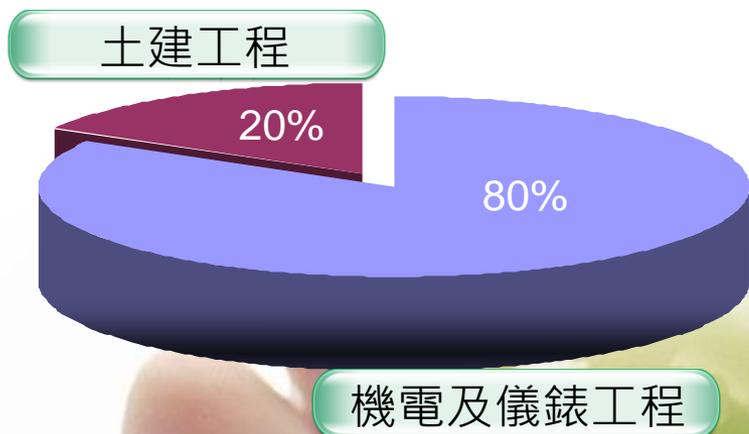
四、廢水處理節能方向

廢污水處理與再生成本架構分析

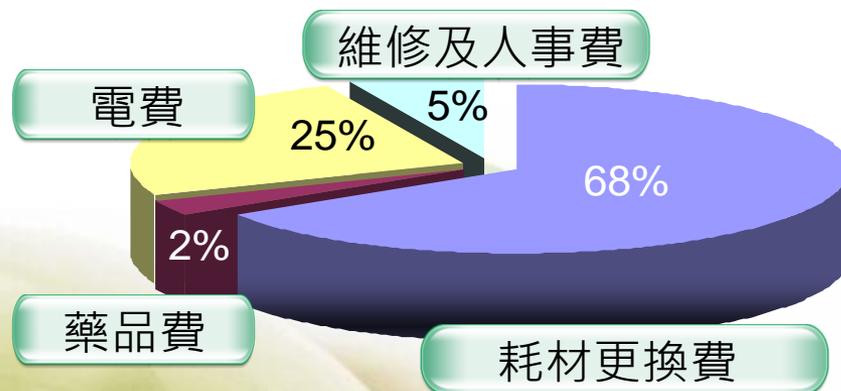
🌈 推動節能將有助於減少再生水價對於電價的連動

- 📄 採取機電設備節能措施
- 📄 採取低耗能廢污水處理設備

約占總成本60%



約占總成本40%



69

廢污水處理廠節能點

泵浦



約占廠內20%之用電

鼓風機



約占廠內40%之用電

泵浦節能



需求點



進流抽水站、單元間泵送單元

特點

- 設備技術發展成熟
- 進流抽水站流量調節方式：使用定速泵浦以滿足基本流量需求，並搭配可調速泵浦，變速運轉以適應流量的變化
- 系統更換使用高效率馬達，節能比例最大可達5%
- 加裝電容器組，改善功率因數，節能比例最高可達20%
- 增加變頻轉矩控制，節能比例最高可達10%

限制與缺點

- 泵浦平均使用8年，效率逐年降低，損失約達10~20%，購置輪葉為不銹鋼材質之泵浦效率折損較小，惟初期投資偏高
- 多台泵浦輪流運轉，水錘效應可能產生，進而造成設施故障

鼓風機節能



需求點

鼓風機房、曝氣單元、空壓裝置

特點

- 設備技術發展成熟
- 依曝氣池溶氧 (DO) 濃度控制風量，採全自動式或半自動式，節電比例最高可達30%
- 改善曝氣布置方式

	單邊曝氣	中心曝氣	全曝氣 (間距3.05m)
曝氣效率	1.05	1.33	1.82

- 採用微孔曝氣裝置

單位: kgO_2/kWh

	多孔管	微孔管
曝氣耗電量	1.3	1.1

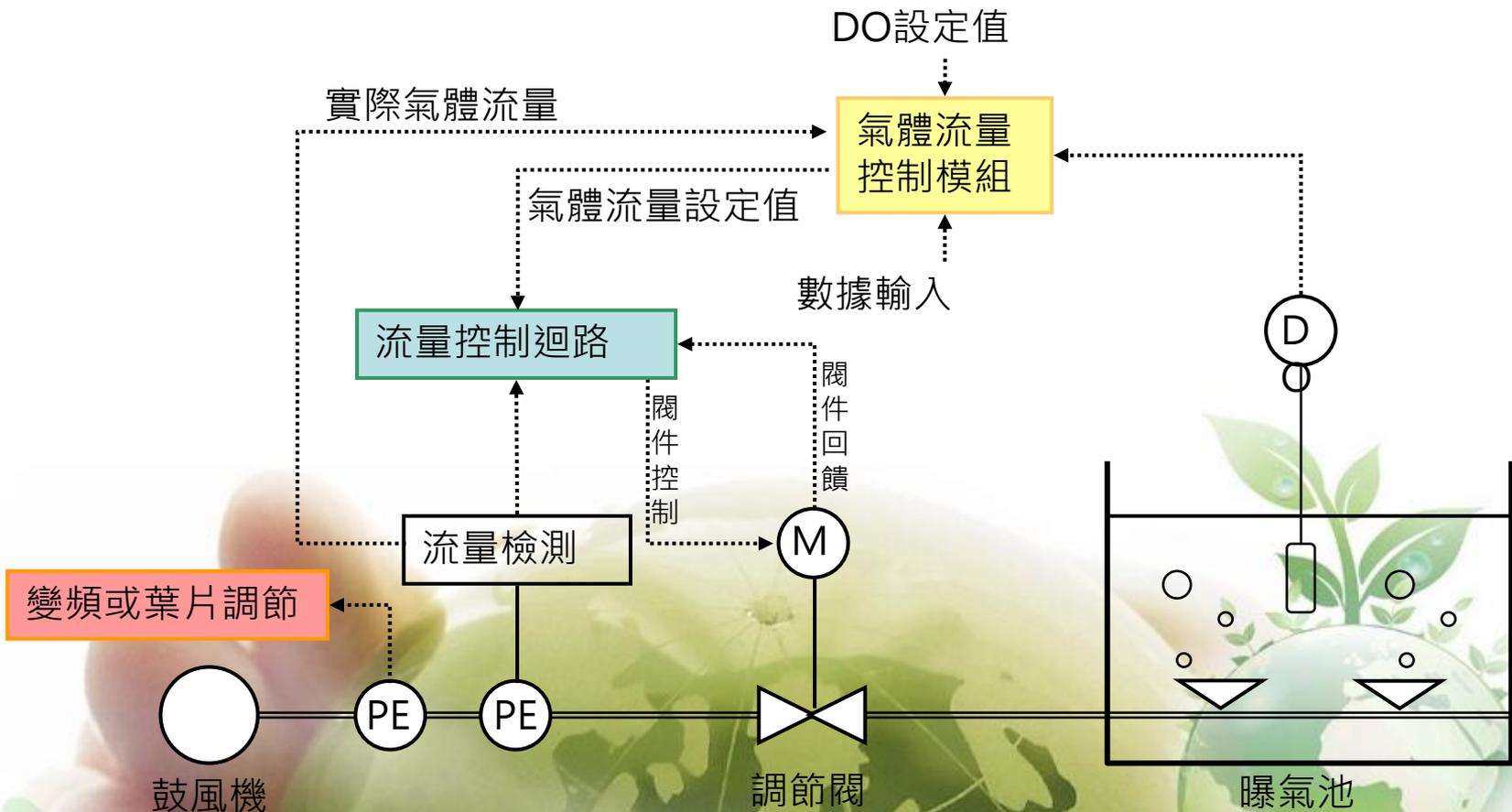
單位: $\text{kWh}/\text{kg BOD}$

限制與缺點

- 建置及維修成本較高
- 設備屬於長期連續運轉狀態，較易損壞
- 鼓風機運轉約有25~40%時間處於空車狀態(不送風但仍持續耗電)
- 系統頻繁壓降仍會造成電能損失，每2 psi的壓力降相當於1%的電能損失

智慧型曝氣控制系統案例

- 根據污水處理廠的實際運行狀況，以溶氧量為指標精確控制供氣量，按需求供氣以提高效率，防止過量曝氣



低耗能水再生設備

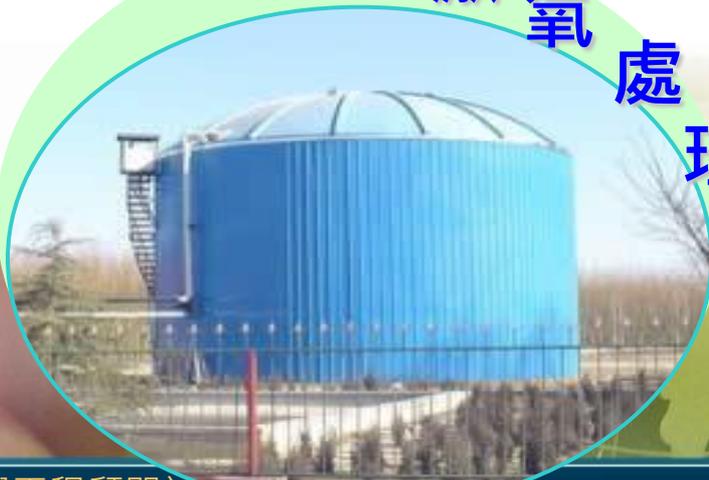
纖維快濾



薄膜蒸餾



厭氧處理



人工濕地



低耗能水再生設備 (續)

傳統處理程序

好氧處理

氮磷去除單元(AO、A2O)

砂濾 - UF - RO

RO或EDR等除鹽單元

低耗能處理程序

厭氧處理

人工濕地

纖維快濾 - EDR

薄膜蒸餾

廢污水厭氧處理



需求點

➡ 高濃度有機原廢水

特點

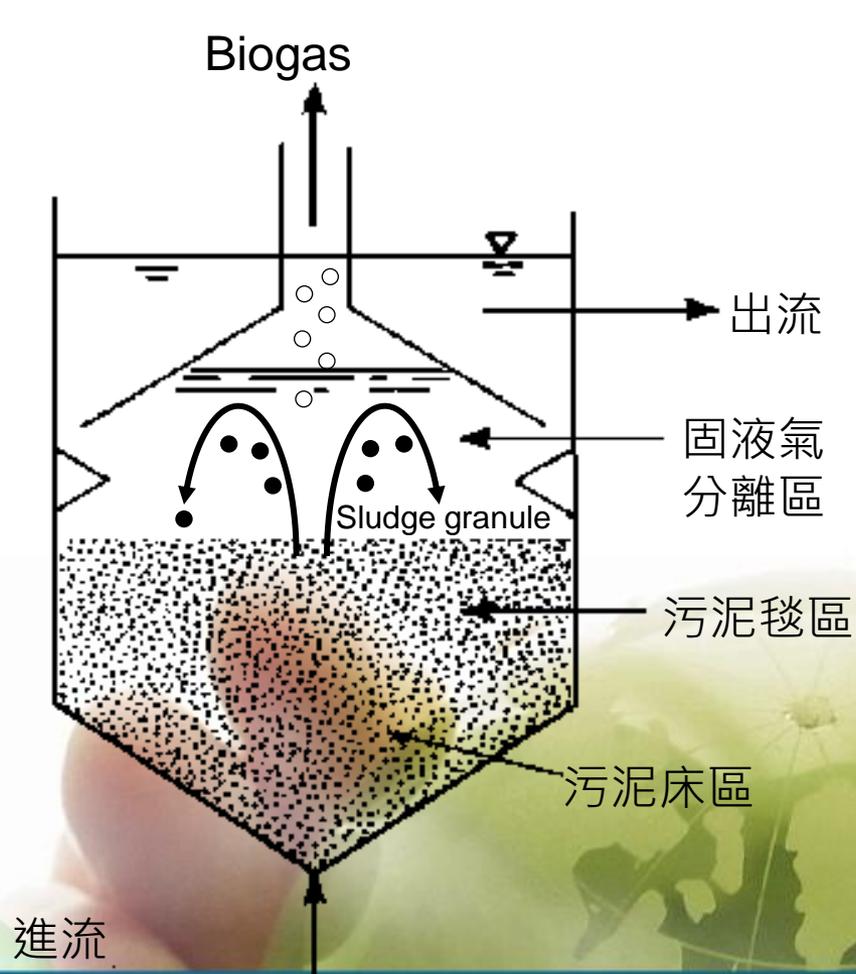
- 處理過程耗能約為好氣處理的20%
- 針對難分解含氯含苯有機物去除率可達85%以上
- 沼氣生成量約為 $0.5\sim 0.7 \text{ m}^3/\text{kgCOD}$ ，甲烷含量約為60~70%，沼氣轉換發電量約為 $1.5 \text{ kWh}/\text{m}^3$ ，可再作利用
- 去除每克COD基質能獲得自由能約為好氣處理之10%，較少有機物被同化為菌體，故產生污泥量較低，減少後端耗電

限制與缺點

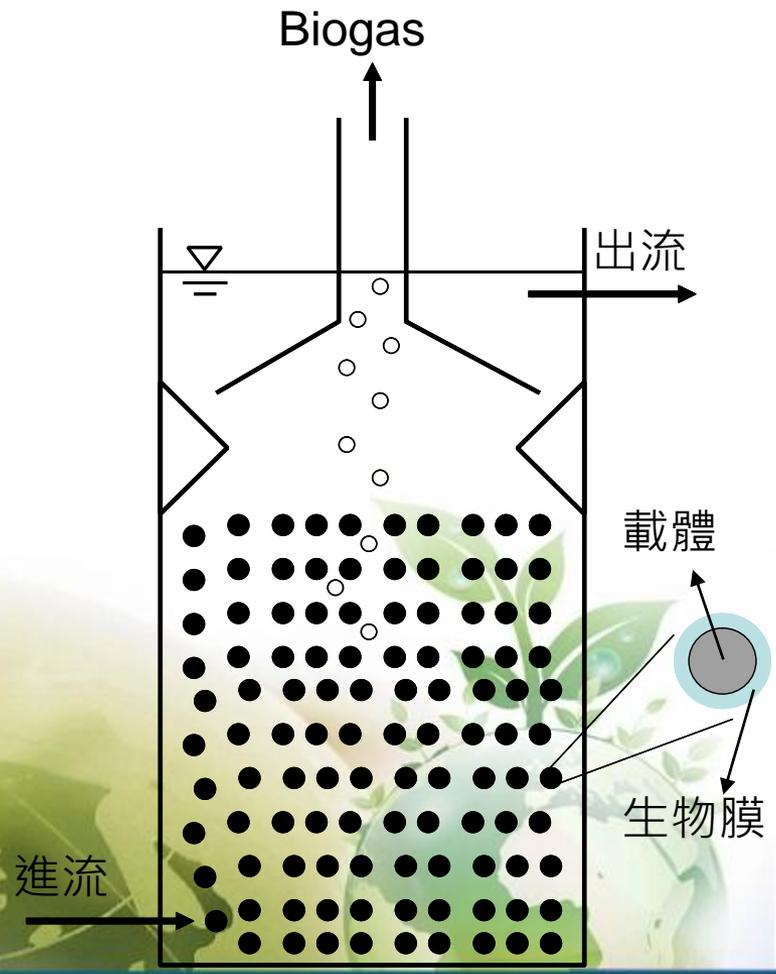
- 對水質環境條件要求高
 - 溫度需維持在中高溫
 - pH值需控制在6.8~7.8
 - 氮含量需維持在有機碳之2.5%
 - 磷酸鹽含量需維持在有機碳之0.5%
- 需保持槽體密閉性維持在厭氧狀態
- 高溫醱酵時ORP需維持在-560~-600 mV，中溫醱酵時ORP需維持在-300~-350mV

廢污水厭氧處理 (續)

上流式厭氣污泥反應槽 (UASB)



厭氧流化床 (AFB)



纖維快濾



需求點



去除水中懸浮物質、薄膜過濾前處理單元

特點

- 由絲徑為20~50 μm 之纖維絲製成，纖維濾料孔隙率約90%以上
- 過濾精度約為2~10 μm ，高於砂濾之100 μm
- 產水濁度去除率約75~80%，可穩定低於10 NTU；濾速約為傳統砂濾3~4倍，截污能力約2~3倍
- 採用氣水擦洗方式，可縮短反洗再生時間產水
- 已可導入EDR再作除鹽，可取代砂濾與UF，大幅降低用電用藥

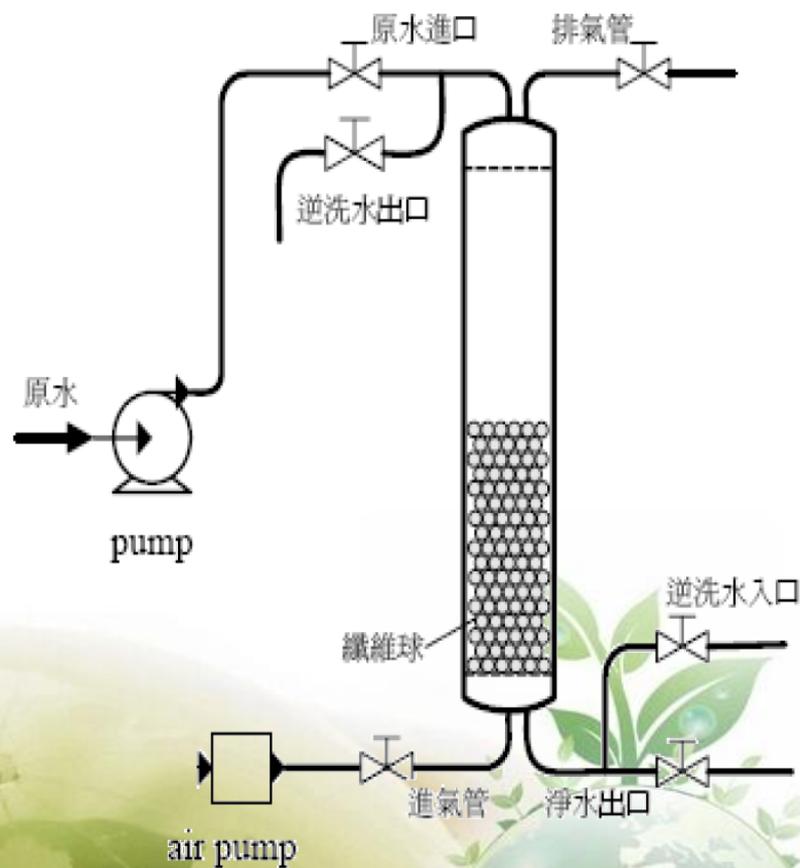
限制與缺點

- 反洗強度受限制，不易沖洗徹底
- 纖維因長時間操作而移位、流失、破碎，進而釋出已捕捉雜質
- 不同廠牌纖維濾材間不易互相轉換，可能造成採購上困擾

纖維快濾 (續)



常用纖維濾材型式



纖維球纖維過濾器

水處理衍生能源

沼氣



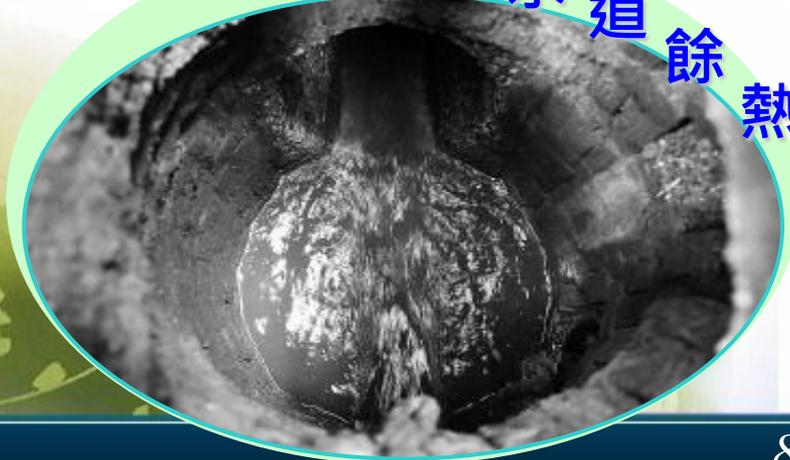
微水力能



生質物



下水道餘熱



沼氣發電



需求點



污泥厭氧消化單元

特點

- 技術發展成熟，國內有自有設備供應商
- 可就近將污泥經厭氧處理發酵後可產生沼氣，進行沼氣發電再利用，沼氣發電量約為1.5度/立方公尺
- 沼氣中主要氣體為甲烷及二氧化碳，燃燒產生之污染性較煤燃燒潔淨

限制與缺點

- 需先將沼氣純化（除硫除水）後加以使用
- 國內操作經驗顯示沼氣發電機長期運轉，內部管線易受氣體腐蝕
- 若廠區處理不善，會有爆炸性危險
- 國內都市污水處理廠進流水有機成分少，污泥消化效率低
- 國內工業區廢水處理廠污泥成分複雜，不易進行厭氧消化

生質物鍋爐燃燒

需求點



廠內污泥或人工濕地之植栽燃燒熱能發電

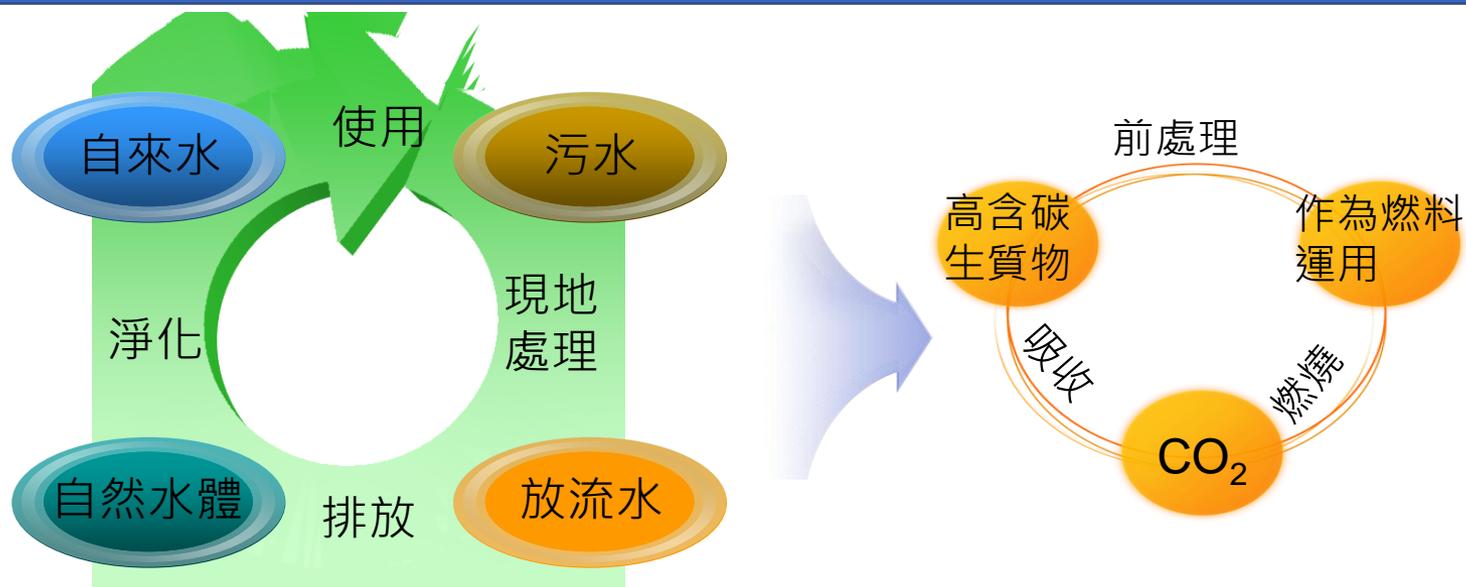
特點

- 技術發展成熟，利用污水下水道或污水處理廠之污泥，搭配氣泡式流化床鍋爐，可進行生質物熱能再利用，並作發電
- 污泥經過造粒後，作為鍋爐燃料；可順帶達到污泥減容效果
- 可結合人工濕地植栽併同乾燥後，進行造粒與發電

限制與缺點

- 國內現無任何與污水處理結合案例（僅少數石化廠焚化油泥）
- 需搭配乾燥、造粒、焙燒等前處理方式，增加其燃燒熱值，但也占用大量空間
- 設置小型鍋爐需考慮空污相關法規限制
- 發電成本預期超過5元/度
- 需因污泥及生質物來源不同設計適合之發電設備，較沼氣發電複雜

生質物鍋爐燃燒 (續)



植物	水分(%)	灰分(%)	可燃分(%)	低位發熱量 (kcal/kg)
乾燥後污泥餅	40	25	35	~2,500
稻草	7.6~11.5	6.0~23.6	68.8~92.3	~3,800
芒草	7.9~10.5	5.7	83.8~92.8	~4,000
蘆葦	18	5	77	~4,300



五、結語

持續加嚴的水污染管制 - 放流水標準

水質項目	限值	適用條件	事業別						
			石化業	石化專區	海洋放流管線	晶圓半導體	光電材料製造	科學園區下水道系統	化工業
氨氮	新設		20	20	-	20	20	20	20
	既設 (非高含氮)		20	-	-	-	-	-	20
	既設 (高含氮)		150 (103.12.31)	150 (103.12.31)	-	-	-	-	150 (105.12.31)
			60 (105.07.01)	60 (105.07.01)	-	-	-	-	60 (107.12.31)
	既設		-	-	-	75 (101.07.01) 30 (104.07.01)	75 (102.07.01) 30 (106.01.01)	75 (102.07.01) 30 (106.01.01)	-
既設 (提削減計畫)		-	-	-	75 (102.07.01) 30 (104.07.01)	75 (104.01.01) 30 (106.01.01)	75 (104.01.01) 30 (106.01.01)	20 (106.12.31)	
苯		化工業僅部分業別	0.05	0.05	0.05	-	-	-	0.05
氯乙烯		不含煉油業 化工業僅部分業別	0.1	0.1	0.1	-	-	-	0.1
銻		-	前端原廢水回收		-	0.1	0.1	0.1	-

強化既有生物處理

持續加嚴的水污染管制 - 水污費

自104年5月1日起開徵



水污染防治費開徵囉!!

- 自104年5月1日起開徵
- 第一年徵收對象：(一)畜牧業以外之事業 (二)工業區專用污水下水道系統
- 費額計算方式： $\sum [(費率 \times 排放水質) \times 排放量]$ ，i：指收費辦法規定之各徵收項目
- 徵收項目：化學需氧量(COD)、懸浮固體(SS)及有害健康物質共10項
- 申報繳納期限：每年1月及7月底(但應於104年7月31日前申報繳納水污染防治費者，其申報繳納期限得延長至10月31日止。)

1 2 3 4 5

以放流水1,000 CMD (COD 50 mg/L , SS 15 mg/L) 的自排事業而言，104年7月1日至12月31日當期約需繳交3.4萬元 (未計重金屬)

簡報結束

敬請指教

