

廢水處理

廢水生物處理程序常見問題實務探討

張聖雄*、陳見財**、陳良棟***

摘 要

由於廢水生物處理變化性大，於大型工廠因經費及人力充足，操作維護上較無問題；然於中小型工廠則限於經費及人力不足，操作管理上常有不足或疏忽之處，當生物處理系統異常時，未能及時採用有效應變措施以進行控制，加上環保單位稽查嚴格，常造成業者經營上之困擾。有鑑於此，筆者蒐集近年來之相關研究論文並予以彙整分析，另加上筆者從事工廠現場輔導工作經驗，以理論面及實務面雙向配合進行探討相關問題。本文透過活性污泥膠羽、溶氧控制、pH 值變化、污泥膨化、污泥上浮、泡沫困擾及微生物相觀察等章節，以摘要方式進行介紹，期能讓業界瞭解生物處理特性及相關可行改善方案，於實際遭遇該類型問題時，能迅速有效地採取適當之應變措施，以達事半功倍之效。

【關鍵字】溶氧控制、污泥膨化、泡沫問題、生物處理

*財團法人台灣產業服務基金會 工程師

**財團法人台灣產業服務基金會 資深經理

***經濟部工業局永續發展組 技正

一、前言

廢水生物處理程序基本上可分厭氧處理及好氧處理兩種，厭氧處理常用於高濃度廢水，而好氧處理則較常見於業界所使用。於生物好氧處理上，亦分成多種處理程序，如活性污泥法、接觸氧化法、氧化深渠法等，各項處理方法之選用有其特性考量；如活性污泥法具處理效率較高，但污泥產量較多；接觸氧化法處理效率較低，污泥產生量相對亦較少；氧化深渠法具處理較穩定之優點，但有佔地較大之缺點等。另有結合活性污泥法及接觸氧化法之處理程序，以處理較高濃度廢水之研究，如 ABF、MBBR 等。然於諸多處理程序中，目前國內仍以活性污泥法最常見。

產業界因原料及製程不同，所產生之廢水特性各廠皆有所差異；雖大多使用活性污泥法處理廢水，但其結果或問題點皆有所不同；例如於曝氣池池體之選用上，即有完全混合形(complete mix)及栓塞流形(plug flow)等兩種，有其運用考量；於曝氣攪拌形式上，有採鼓風機加散氣盤形式、噴射式曝氣機(air jet)及表面曝氣機等不同形式，亦各有其選用特色；於沉澱池選用上因用地因素有圓型與矩型之分。綜合各不同因素考量，各廢水處理廠所執行之廢水生物處理操作維護及成果不同，所遭遇之問題亦不盡相同。

廢水生物處理之操作維護項目眾多，問題之發生與解決對策亦有多種；本文僅以筆者所認知事項提出經驗交流，內文主要從活性污泥膠羽、溶氧控制、pH 值變化、污泥膨化、污泥上浮、泡沫問題及微生物相觀察等項目；介紹相關問題之原因、其可行之處理方案及經驗分享，讓業界於操作生物處理程序時可作為參考使用。

二、活性污泥膠羽

廢水處理現場人員每日皆需執行污泥廢棄工作、操作污泥脫水程序；然污泥除一般顯微鏡所見，其實際組成究竟為何，由於牽涉到相關處置是否適當，值得深入探討；相關說明如下：

1. 活性污泥(膠羽)組成

較早文獻資料認為活性污泥膠羽係由特定之微生物-膠團桿菌(Zoogloea

ramigera)所形成，因其可形成大量黏質性莢膜細胞間質(matrix of capsular slime)，將其他分散性生物體吸附，膠質本身又提供作為掠奪者的獵場。

然依較新文獻資料^[1, 2]顯示，活性污泥初期，首先出現之原生動物為阿米巴原蟲(amoeboid)，當細菌族群開始建立，且一種稀薄混合液(thin mixed liquor)出現時，鞭毛蟲類取代阿米巴原蟲成為優勢原生動物。數天後，當稀薄延散性膠羽(lightly-dispersed floc)開始形成，細菌族群也大量增加，阿米巴原蟲及鞭毛蟲類因溶解性食物競爭關係，開始快速死亡，隨著膠羽出現及細菌數量增加，自由游泳性纖毛蟲類出現，吞食細菌，並分泌多醣聚合體(polysaccharides)及黏液蛋白(mucoproteins)，促使膠羽形成。但形成之膠羽限制了其自由活動力而降低其攝取食物之能力，使其數目開始減少。當膠羽達到穩定階段，匍匐行纖毛蟲類開始成為優勢原生動物。最後，有柄纖毛蟲類出現於成熟污泥。存在的膠羽提供一個適當棲息所，有利於匍匐行及有柄纖毛蟲類的成長及攝取食物。

依據上述演變內容較合理之解釋，為活性污泥膠羽係由微生物所分泌的聚合體(polymer)或暴露在適當生理條件下，生物體表面間互相作用之影響，亦即膠羽係「細胞表面的聚合體吸附(adsorption)及架橋(bridging)作用之結果」，如圖 1 所示。

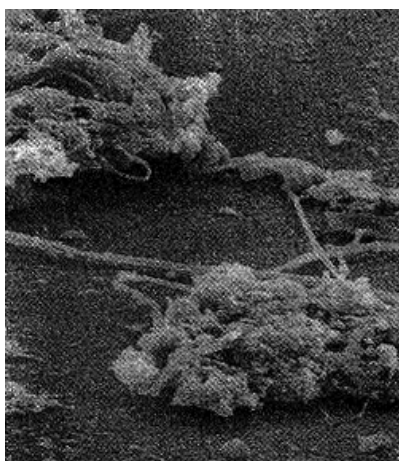


圖 1 以掃描式電子顯微鏡觀察活性污泥膠羽

(資料來源：R.J.Dutton 及 G.Bitton)

72 廢水生物處理程序常見問題實務探討

2. 污泥(膠羽)組成運用

如活性污泥膠羽為細胞表面的聚合體吸附及架橋作用之結果，推估膠羽內部應包含活的及死的細胞(細菌及原生動物)，係由細胞之分泌物所聚集而成；該原理及推估如確定，相關之考量及建議如下：

- (1)曝氣池內溶氧值之提高勢必增加曝氣作用，直接增加膠羽間之剪力作用，將不利大型膠羽之形成。故溶氧值偏高之曝氣池，其膠羽於沉澱池將較不易沉降。
- (2)污泥於沉澱池仍會耗用氧氣，氧氣耗用量視膠羽特性而稍有不同，沉澱池污泥停留時間(污泥毯高度)宜適當，以避免污泥有缺氧之虞。
- (3)生物污泥具有活性及黏性之特色，於污泥脫水處置階段，除較不易脫水外，為避免膠羽內細胞體破裂，體液/有機質流回處理系統，亦不建議採用如板框式、螺旋式等較高脫水效率之脫水機；除非有物化污泥可作適當混合調整之用。

三、溶氧控制

國內業界現有之廢水處理廠，於生物處理程序上，大多採用活性污泥系統；對於曝氣池之溶氧控制上，長久以來各方面建議不一，建議值有 1.5~2.0mg/L、2.0~2.5mg/L 及 2.0mg/L 以上等不同數據；何者為是，理應依實際需求狀況而定。以下依「經濟溶氧」理論，配合前章節活性污泥膠羽組成，提出溶氧控制建議。

1. 經濟溶氧

依據資料顯示^[3]，當廢水中溶氧濃度增加時，微生物之呼吸速率(及生長速率)常以雙曲線函數的關係增加，而且漸趨於一個最大值(maximum value)；達到這個最大值的溶氧濃度被稱為臨界濃度(critical concentration)，如圖 2 所示。其中最大攝氧率 1/2 之 DO 濃度，稱為經濟溶氧(K_m，膠羽保有活性之最低需氧量)，溶氧值約為 0.1 mg/L。以單一細菌實施純粹培養時 K_m 很低(約 0.001 mg/L)，然於活性污泥系統 K_m 較高(約 0.1 mg/L)，此一差異在於溶氧需擴散通過污泥之膠羽，多了質傳阻力之影響。一般要達到最大呼吸率之 95%以上，溶氧需維持在 2 mg/L，超過此一濃度水準，無論就動力或經濟觀點，助益都不大。

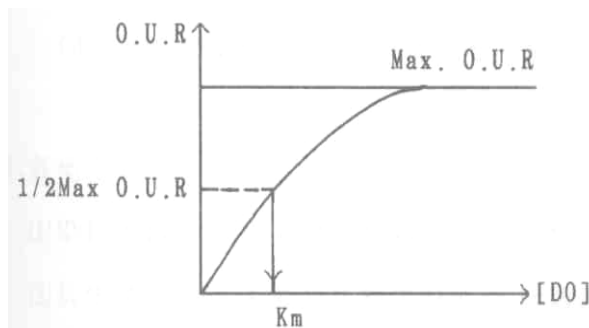


圖 2 臨界濃度與 K_m 關係^[5]

2. 溶氧量控制

如膠羽保有活性之最低需氧量，其溶氧值約為 0.1 mg/L，則相關考量及建議如下：

(1) 於曝氣池操作維護時，可先將曝氣池膠羽視為小球形，因氧氣於球形外圍滲透至中心點會依序遞減，而為保持中心點之溶氧值為仍有活性之最低溶氧值 0.1 mg/L，則球形外圍之溶氧值環境應平均維持在 0.5 mg/L。另考慮池內膠羽不會單純皆為小圓形，配合較大型膠羽之需求，池內溶氧值應平均維持為 1.0 mg/L；依該理論推估相關結論，可模擬運用如下：

- a. 池內沉積現象不嚴重者：例如採鼓風機加散氣盤形式曝氣，依經濟溶氧理論，池內平均值溶氧值維持為 1.0 mg/L 即可。
- b. 池內常有沉積現象發生者：例如採表面曝氣機或氧化深渠等曝氣形式，而為避免(或減少)沉積區域發生厭氧現象，依經濟溶氧理論，池內平均溶氧值則需適當調高為 1.5 mg/L。

(2) 曝氣池之溶氧值隨時都在變動中，尤其曝氣池入口處常因污染負荷較高，及迴流污泥流入影響，實際溶氧量常偏低，故於曝氣池入口處宜盡量曝氣以提供溶氧量。然於曝氣池出口處，由於負荷較低，且膠羽即將進入沉澱池進行固液分離，應減少曝氣量(降低溶氧)，以減少曝氣剪力，增加污泥完整性，尤其曝氣池體型上屬栓塞流法者。

74 廢水生物處理程序常見問題實務探討

(3)曝氣池之溶氧值維持在 2.0 mg/L 以上，為一般較常見之操作模式；但如需加強活性污泥沉降效果，可嘗試以經濟溶氧理論做基礎，適度降低曝氣量(溶氧值)。執行時為避免沉澱池有污泥厭氧上浮之虞，可採取加大污泥廢棄量(降低污泥毯高度)方式，或將經濟溶氧理論值適度提高等方式處理，業界於執行經濟溶氧理論時，仍需配合現場實際操作狀況進行適當調整，以確認最佳操作參數。

四、pH 值變化

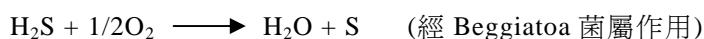
曝氣池因有微生物代謝作用，導致系統內廢水之 pH 值常會隨之改變，如廢水之緩衝能力有限，部份廢水處理廠須於曝氣池單元添加酸鹼藥劑，以控制曝氣池出流水之 pH 值；然酸鹼藥劑之添加程序，將直接增加操作成本，若能了解 pH 值改變之原因，以調整操作方式、減少藥劑之添加，應能有效降低或減免該項操作成本；以下針對 pH 值改變之原因及因應方式進行說明：

1.pH 值下降

活性污泥處理系統會發生 pH 值下降問題，一般可能原因及因應方式如下：

(1)廢水中含有 H_2S ^[5]

硫還原菌於厭氧狀態下會將硫酸鹽類還原為 H_2S ，而硫氧化菌會於適當時機將 H_2S 氧化為 H_2SO_4 ，使系統中 pH 值迅速下降，如下列平衡方程式。於含高硫酸鹽類廢水之處理過程，尤其明顯。



此外，如廢水中有 HNO_3 存在，更易產生 H_2SO_4



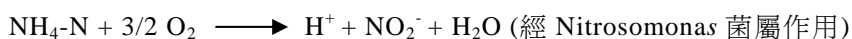
(經 *Thiobacillus denitrificans* 菌屬作用)

為避免硫還原菌將硫酸鹽類還原為 H_2S ，處理設備宜避免於不通風狀況下操作或減少沉積現象發生。以生活污水為例，如調勻池為地下密閉式設計，因

廢棄蛋白質之胺基酸內即含有硫官能基，硫還原菌於厭氧狀態下會將該硫化物還原為 H_2S ，調勻池池頂將產生酸腐蝕，且出流水 pH 值將明顯下降。

(2) 廢水中含有 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，進行硝化作用^[3]

曝氣池充分曝氣時，微生物先進行有機碳氧化作用，至 COD 濃度降至某程度(或 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度相對較高時)，硝化菌(屬絕對喜氣菌)將呈優勢，並進行硝化作用。由於硝化菌為自營菌，攝取無機碳如 CO_2 、 CO_3^{-2} 、 HCO_3^- 為碳源，將 $\text{NH}_4\text{-N}$ 氧化為亞硝酸及硝酸，因此硝化作用進行時產生酸，易使系統中 pH 值降低，如下列平衡方程式。



$\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度較高時，整個處理系統宜考慮改為除氮處理程序； $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度不高時，運用硝化菌屬絕對喜氣菌之特性，適當調降廢水中溶氧值，可使系統中 pH 值下降速度變緩。

(3) 污泥分解有機物，放出許多二氧化碳溶於水中，導致系統之 pH 值降低。

於生物可氧化基質較多時，該現象較明顯，水中溶氧量亦常隨之降低；然隨著可氧化基質已逐漸被處理時，該現象轉而趨緩；最後因曝氣效應，pH 值及溶氧量會逐漸回升。整體而言，除非原廢水 pH 值即偏低，否則該現象不易讓水質 pH 值低於 6 以下，因本項因素而添加鹼劑之機會較少。

2. pH 值上升

活性污泥處理系統會發生 pH 值上升問題，一般可能原因及因應方式如下：

(1) 廢水中含有相當濃度之 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，進行硝化/脫硝作用所致

a. 硝化作用：硝化作用進行時產生酸，易使系統 pH 值降低，如下列平衡方程式。

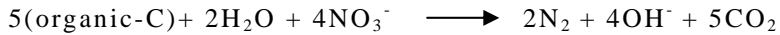


(經 Nitrosomonas、Nitrobacter 菌屬作用)

b. 脫硝作用：當水中存在硝酸根離子，且於「氧氣供應不足」情況下，微生物將以硝酸鹽類代替氧氣進行呼吸代謝，多數之脫硝細菌為氧化

76 廢水生物處理程序常見問題實務探討

有機物質之異營菌，少部份為氧化無機物質之自營菌，可將硝酸鹽類還原為氣態氮化合物，因產生氫氧基離子，反而使系統 pH 值上升，如下列平衡方程式。



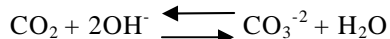
(自營菌：Thiobacillus、Micrococcus 菌屬作用)

(異營菌：Pseudomonas、Achromobacter 菌屬作用)

由於脫硝作用程度仍受前段硝化作用之直接影響，並不會使系統 pH 值持續上升；筆者曾見到 A 廠因有機負荷低且池內溶氧低，導致硝化與脫硝同時作用，其結果為系統 pH 值由 6.5 上升至 8 左右，尚未到須加藥控制階段。另有 B 廠因廢水含有 200 mg/L 左右之氮鹽，導致系統內硝化作用嚴重，因此採用局部厭氣方式，擬以脫硝方式減緩 pH 值下降程度，然因氮鹽確實過多，硝化作用始終大於脫硝作用，實際 pH 值反而下降至 5.5~6；如於曝氣池內添加氫氧化鈉，所需添加量甚多，而 pH 值上升程度有限；最後於放流前添加氫氧化鈉，使放流水 pH 值能保持 6 以上。

(2) 因藻類行光合作用，消耗 CO₂，易讓系統 pH 值上升

當廢水含有多量之氮磷成分，於日照普遍時，因藻類進行光合作用，消耗水體之 CO₂，因此提升系統 pH 值，如下列平衡方程式；此時藻類包含水體表面衍生之藻類，及於污泥或處理水中皆會有之綠藻類、藍藻、矽藻類等。但於夜間藻類行呼吸作用時，則會產生 CO₂，系統 pH 值會略為降低。



當藻類生長迅速時，因進行光合作用消耗水體之 CO₂，整個系統所提升之 pH 值可高達 10^[4]；防治之道除直接減少氮磷成分外，可從加蓋遮蔽棚(減少日照)及減少廢水停留時間著手改善。

(3) 因曝氣導致 CO₂ 減少，引起系統 pH 值上升

因為二氧化碳為一種微酸性之氣體，常因系統內曝氣作用因素，直接減少水中之 CO₂ 濃度，間接提升系統 pH 值，如下列平衡方程式。



因曝氣作用所去除 CO₂ 之操作，其極限值為曝氣至與大氣中之 CO₂ 平衡時，此時系統之 pH 值約 8.6；如水中含有較高之鹼度，易有較高之 pH 值，較低之鹼度有較低之 pH 值；防治之道為直接減少曝氣作用即可。

五、活性污泥膨化現象

何謂活性污泥膨化現象(sludge bulking)?一般係指在曝氣池中之活性污泥因沉降性及壓縮性不佳，致沉澱池中污泥沉降緩慢或完全不沉降；在此情況下，污泥之容積指數(SVI)趨高，其 30 分鐘沉降結果如圖 3 所示；沉澱池中污泥毯迅速堆積升高導致部分污泥溢流，使放流水中含有大量之懸浮物體，常導致放流水不符合排放標準。

污泥膨化現象通常包含污泥鬆化及絲狀菌過度生長兩種情況。污泥鬆化之特徵為 SV₃₀ 介於 700~950ml/L，但幾小時後 SV₃₀ 常降為 400~600 ml/L，膠羽鬆散且絲狀菌不多(絲狀菌分類常為 0~1)、污泥不易從沉澱池溢出，嚴重時添加混凝劑控制即可；其原因除廢水特性外大多為曝氣攪拌過量所致，如使用噴射式曝氣機或表曝機者。而絲狀菌過度生長(如圖 4 所示)之原因與控制措施則相對較為複雜。以下針對絲狀菌過度生長導致之污泥膨化現象進行討論。

1. 絲狀菌之特性資料

依據資料顯示^[2, 3, 6, 7]，造成污泥膨化之生物，大致上有 *Sphaerotilus natans*, *Bacillus*, *Thiothrix*, *Escherichia*, *Beggiatoa*, *Geotrichum candidum*，絲狀增殖酵母及其他絲狀微生物等；一般而言，絲狀菌之比增殖速率較細菌為低。因此，絲狀菌在生存競爭環境中如欲得勝，在於環境突遭變異時，對其他細菌之增殖速度形成抑制，對絲狀菌抑制較小，如此才會形成優勢。有關絲狀菌之特性，歸納如下：

- (1) 與膠羽生成菌比較，絲狀菌有較大之表面積與體積之比，因此對低濃度基質、溶氧之攝取較有利。
- (2) 絲狀菌比膠羽生成菌具有較強之阻礙物質抵抗性。
- (3) 絲狀菌不為原生動物及微小後生動物等掠食者所攝取。

78 廢水生物處理程序常見問題實務探討

(4)絲狀菌比膠羽生成菌對環境有較廣之適應範圍。



圖 3 30 分鐘沉降結果

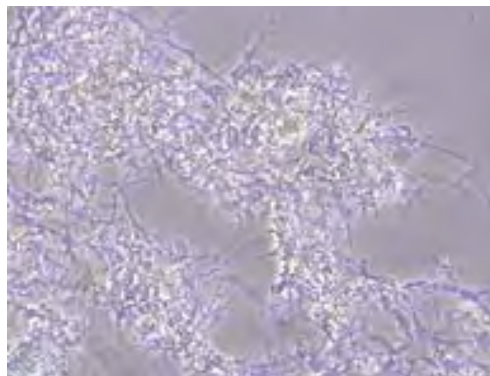


圖 4 以顯微鏡觀察絲狀菌過度生長情形

2. 活性污泥膨化之原因及處置對策

污泥膨化之原因大致上有：廢水特性(如高醣類廢水)、基質濃度低、pH 過低(低於 6)、硫化物濃度高、溶氧值低及營養物不足等因素。但因可能同時存在兩種以上因素，故在判別上不容易。

活性污泥膨化之處置對策上，基本上可分為暫時性、較長時間性及永久性等三種，如表 1 所示：

表 1 污泥膨化之處置對策^[6]

| 暫時性 | 較長時 | 永久性 |
|-----------------|------------|--------------|
| · 添加化學氧化劑 | · 調節供給氧氣量 | · 曝氣池體為栓塞流型 |
| · 添加無機性之混凝劑 | · 供給必須之營養劑 | · 系統中加入缺氧段 |
| · 增大污泥迴流量及廢棄污泥量 | · 調整系統之食微比 | · 設多段分隔式曝氣系統 |

廢水處理廠發生污泥膨化現象，最常用之處置為於迴流污泥添加氯或過氧化氫，兩者添加濃度分別為 10~20mg/L 及 100~200mg/L，添加時間需視膨化狀況而定。然於添加前仍需檢視發生原因，先採取表 1 較長時之處置，以減少再發生之機會；而對於常發生之處理廠，建議採表 1 永久性之處置，其處置原理分別如下：(1)栓塞流型法之基質濃度呈梯度下降，不易有優勢菌種；(2)加缺氧段取因於絲狀菌大多屬絕對好氣菌；(3)多段分隔式為綜合前兩者之特性而成。

較詳細之絲狀菌特性介紹及處置實例，可參閱筆者投稿於工業污染防治季刊第 90 期「活性污泥膨化現象之處置研析」；以下簡介污泥膨化現象進行處置時，須注意之事項：

- (1)廢水處理廠發生污泥膨化現象時，如能立即判定絲狀微菌種類，對防治工作上絕對有幫助；然絲狀菌之鑑別工作，非專業人士將無法勝任。業界若需進行絲狀菌體鑑定工作，可逕洽相關單位諮詢作為參考。
- (2)廢水處理廠於遭遇絲狀菌膨化困擾時，如發現屬污泥膨化初期，建議應以系統之調整因應之；如發現以系統之調整無法克制污泥膨化現象，則需進行添加化學氧化劑以破壞絲狀菌之優勢，然系統之調整仍為破壞菌種優勢後，微生物群恢復原狀之必要條件，故系統之調整為絕對需進行之工作。另因污泥膨化現象如於早期發現，將較易於採取必要措施。建議現場操作人員，應每日進行污泥顯微鏡觀察工作；如未有顯微鏡設備，至少每日須作 SV_{30} 沉降試驗，以利及早防範。
- (3)廢水處理廠決定添加化學氧化劑以抑制絲狀菌生長，防治原因在於絲狀菌已為優勢菌種，若不破壞此優勢，無法恢復正常微生物相。但此舉亦會抑制原生動物，且因菌絲斷裂、原生動物死亡及膠羽破碎，導致處理效率會隨之降低，處理水質會明顯惡化；此為暫時現象，於停止添加後，各微生物將慢慢恢復，配合系統作適當調整修正，則於該新環境中將逐漸恢復原微生物相。不過因各廠污泥膨化現象程度不一，所需之化學氧化劑添加量也不同，故執行時宜由少量逐步添加，添加期間亦須以沉降實驗及顯微鏡觀察作為添加效果之確認工作。尤其處置過程需詳實紀錄，以作為再發生污泥膨化時之參考因應對策。

六、污泥上浮

廢水經生物處理系統處理後，有機污染物質將轉換成污泥膠羽，後續污泥將於沉澱池單元進行固液分離程序。固液分離程序好壞直接影響處理效率，於固液分離程序中最棘手之處，在於污泥上浮問題；雖可設浮渣擋板將上浮之污泥攔截，但微小之污泥仍會溢流而出，造成沉澱池出流水 SS 增加；因此，污泥上浮問題宜密切注意，污泥上浮原因及對策整理如表 2 所示。

表 2 污泥上浮原因及對策^[8]

| 現象 | 可能原因 | 對策 |
|--|--|---|
| 污泥膠羽輕而流出，沉澱池局部有雲狀的均質污泥群上浮。混合液作沉降實驗時，沉降良好，上澄液清澈。 | <ul style="list-style-type: none"> 過度曝氣(細氣泡引起) 污泥淤積發生厭氧 污泥發生脫氮現象 因池表底溫差而產生對流 | <ul style="list-style-type: none"> 降低曝氣量 增加廢棄量，維持適當污泥毯高度 需脫氮：需另案考量 不需脫氮：降低迴流量及曝氣量。 若沉澱池表底溫度超過 1~2 度，宜考慮設曝氣/沉澱池。 |
| 沉澱池池面有污泥塊且表面有氣泡。混合液作沉降實驗時，沉降良好，但部分膠羽於 1~4 小時後浮到水面。 | <ul style="list-style-type: none"> 沉澱池發生脫硝作用 | <ul style="list-style-type: none"> 依廢水污染性決定處理程序是否須進行硝化/脫硝。 a.不需硝化作用時，則抑制硝化菌，對策包含：降低迴流污泥量(約每天 15%)及曝氣量(約 1.5mg/L 或更低)。 b.需硝化作用時，對策包含： <ul style="list-style-type: none"> (a)輕微：降低污泥毯高度 (b)總氮未超過 50mg/L：增加迴流污泥量/增加曝氣量/提供鹼度。 (c)總氮超過 50mg/L：整個系統修改成 AO 法或間歇曝氣法。 |

表 2 污泥上浮原因及對策^[8](續)

| 現象 | 可能原因 | 對策 |
|---|---------------------------------|-------------------------------------|
| 微小分散之膠羽遍佈沉澱池池面，池面浮有堆積之小污泥團。混合液作沉降實驗時，沉降良好，上澄液有微小膠羽懸浮。 | • 因 MLSS 濃度較高，曝氣池負荷較低，污泥老化而解體。 | • 增加廢棄污泥量及減少污泥迴流量，另維持污泥毯高度約 0.3~1m。 |
| 大約 6mm 或更大零散膠羽散佈整個沉澱池，混合液作沉降實驗時，沉降良好，上澄液有成片懸浮膠羽。 | • 因有機負荷改變，使曝氣池負荷較高 (MLSS 濃度稍低)。 | • 減少廢棄污泥量及增加污泥迴流量，使系統恢復適當之有機負荷操作。 |

另外，筆者於現場輔導過程中，曾有污泥上浮於沉澱池池面之案例；取該污泥混合液作 30 分鐘沉降實驗時，污泥直接呈現沉降與不沉降，中間液清澈之現象，如圖 5 所示。其原因不易判斷，研判可能為前物化處理單元採加壓浮除，或曝氣系統採噴射式曝氣機，或廢水性質改變所致。其處置對策為狀況發生時可採用於曝氣池出口端灑少許「消氣劑」，直到狀況穩定為止。消氣劑原理為將膠羽間之小氣泡聚集為大氣泡，而大氣泡將自然消失於大氣中，與消泡劑之消泡原理(大氣泡聚集為小氣泡)剛好相反。



圖 5 污泥上浮現象

七、泡沫困擾

一般廢水處理廠之調勻池或曝氣池常有泡沫之困擾，輕微時僅風吹飛揚，有觀瞻上問題；但嚴重時泡沫可佈滿池水面，甚至覆蓋池旁步道，致使操作上有安全之虞，如圖 6 所示。目前處理泡沫問題上，大多以撒水消泡方式處置；但了解其原因後，或許可從操作策略上進行改善。基本上引起泡沫之原因，可概分為物化性泡沫(油脂及界面活性劑)及生物性泡沫兩種，其中油脂較不易引起嚴重之泡沫問題，而界面活性劑較無適當之處置方案。以下針對產生泡沫之原因及處置進行說明：

1.物化性泡沫

物化性泡沫主要由界面活性劑引起，其為親油性原子團與親水性原子團組成之兩親媒性物質，具兩種基本性質：(1)大部份形成膠體質點而溶存；(2)因機能部之作用，以選擇性的配向吸著，顯著改變界面之狀態或性質。界面活性劑所致之可溶化、某種觸媒作用、各種介面之作用(界面張力降低、起泡、消泡、潤濕、乳化、分散懸濁、凝集等)及洗淨等多種實用性，皆因兩種基本性質有直接或間接之關係。而它的形狀是一個長條，一頭喜歡水，一頭討厭水；當與水混合後，喜歡水的一頭會溶在水中，討厭水的一頭則全部聚集在水面上。而我們進行攪拌時，將把界面活性劑、空氣及水都充份混合，這個時候，界面活性劑討厭水的一頭會包住空氣，也就形成泡泡了！所以我們越攪拌，越多空氣跑進水裡，泡泡也就越多了。



圖 6 亞特蘭大 1 座污水處理廠中浮渣覆蓋曝氣池（資料來源：Mesut Sezgin）

界面活性劑對水域生物的危害性分別為：(1)乳化性(2)滲透性(3)難分解性，舉凡洗淨能力越強之界面活性劑，其對水域生物之危害性亦相對增強，目前業者產品雖逐漸將 ABS 結構轉為 LAS 結構(軟性)，可讓水中殘留濃度降低，但亦有報告^[9]指出 LAS 結構之生物毒性反而更大。於引起物化性泡沫問題上，另需談及油脂之相對性，油脂基本上可分成表面浮油與乳化油，乳化油將增強界面活性劑引起之泡沫安定性，而界面活性劑之存在亦會將表面浮油逐漸轉成乳化油。因此，前處理單元已截留之表面浮油，應盡速清除之，避免讓界面活性劑將表面浮油逐漸轉成乳化油，造成後續處理上，有泡沫、污泥包裹及污泥上浮方面之困擾。

2. 生物性泡沫

依據資料^[10]顯示，於曝氣池表面(或污泥消化池)形成有泡之浮渣，大多為 *Nocardia* 屬(亦屬絲狀微生物)，如圖 7 所示；型態上本屬是屬於放射菌，比其他的絲狀細菌的菌絲短，常在氣泡上附著而上浮，在曝氣池表面形成泡狀浮渣(異常發泡)，然後於沉澱池使污泥上浮。其原因在於該屬生物具強疏水性且高黏性，一旦大量生長且附著於池內之氣泡，則增加氣泡對於機械、化學刺激的安定性。另亦屬放射菌之分枝桿菌(*Mycobacterium* 屬)的某一種，亦被證實也具有形成浮渣之能力。

美國及澳洲研究人員調查發現，在泡沫中 *N. pinensis* 是主要的微生物，而 *Nocardia amarae* 次之，當混和液中每 1 克 VSS 中含有土壤絲菌超過 26mg 時，會產生令人討厭之泡沫(Jenkins, 1992)。另油脂與界面活性劑之存在亦會增加生物性泡沫，資料顯示陰離子性界面活性劑與它們的生物分解產物，能夠提高活性污泥中土壤絲菌之起泡作用(Ho 及 Jenkins, 1991)。

其防治方案^[2]有：用氯殺菌、運用生物選擇器、減少曝氣池空氣流量、降低 pH 值與減少油脂量、添加厭氣消化槽上澄液、抗泡沫劑與鐵鹽、減少低紊流區及物理性地去除泡沫等；其中以(1)減少低紊流區；因放射菌常在靜水表面繁殖，處理過程宜避免造成廢水長期停留之死角。(2)增加污泥廢棄量(提高 BOD 負荷)，該 2 方法較有效且常用。

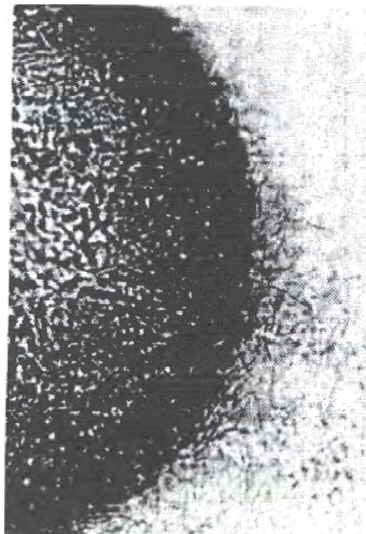


圖 7 在氣泡上大量附著的 *Nocardia amarae*^[10]

八、微生物相觀察

廢水生物處理系統中以活性污泥法而言，其問題之產生大部分是因微生物相之改變而引起，又因生物處理是利用微生物之代謝功能，微生物相正綜合性地反映處理之水質與操作條件，因此在改善廢水處理場操作時，真正引起操作問題之本質，必須加以了解，而其較簡易之方式，即顯微鏡微生物相觀察工作。

廢水處理若發生污泥膨化現象，究竟係污泥鬆化或絲狀菌因素？若是絲狀菌因素其程度為何？另廢水負荷是否正常、是否有抑制性物質及微生物相是否改變等，皆需由顯微鏡微生物相觀察工作得知。且若廢水處理系統穩定，該項工作可快速判斷放流水質狀況。較詳細之資料可參閱「廢水處理功能生物診斷技術」手冊。

業界於進行廢水微生物相顯微鏡觀察工作時，最感到困擾之處，在於廢水中微生物相眾多，若非已長期進行觀查工作者，將不易快速了解該微生物相所代表之意義。在此，針對微生物相所代表之意義，筆者提供較簡易之方法，可參閱表 3 活性污泥 BOD-SS 負荷與微生物相關係表，可一覽各微生物相之型態、中英文名稱及意義。再參閱以下幾項要點：

表 3 活性污泥 BOD-SS 負荷與微生物相關係表

| 負 荷 狀 况 | 處理水質 | 原 生 動 物 | | | | 毛 蟲 類 | | 後 生 動 物 |
|-----------------------|------------------------------|---|--|-------------------------|---|------------------------------------|--|---|
| | | 肉足蟲及鞭毛蟲類 | 緣 毛 目 | 吸 管 蟲 類 | 纖 毛 蟲 類 | 其 他 之 纖 毛 蟲 類 | 纖 毛 蟲 類 | |
| 超 高 負 荷 | 呈 黑 色 或 灰 黑 色 有 硫 化 氫 臭 味 | 鞭 毛 蟲 類 動物性鞭毛蟲 <i>Trepomonas</i> | 鐘 形 蟲 <i>Vorticella</i> (小 型) | | 膜 口 目 尾 絲 蟲 <i>Uronema</i> | 膜 口 目 扭 頭 蟲 <i>Metopus</i> | 膜 口 目 膜 帶 蟲 <i>Cyclidium</i> | |
| 高 負 荷 | 白 濁 BOD 20mg/L 以 上 | 波 豆 蟲 <i>Bodo</i> 單 頂 蟲 <i>Monas</i> | <i>Vorticella</i> (單 囊) 聚 枝 蟲 <i>Epistylis</i> | | 裸 口 目 變 游 蟲 <i>Monotus</i> | 裸 口 目 斜 管 蟲 <i>Chilodonella</i> | 裸 口 目 立 形 蟲 <i>Colpidium</i> 裸 口 目 裂 口 蟲 <i>Amphiloctus</i> | (袋 脰 目 輪 蟲) 輪 蟲 <i>Rotaria</i> 旋 輪 蟲 <i>Philodina</i> |
| 備 高 標 準 負 荷 備 低 | BOD 20mg/L 以 上 | 單 頂 蟲 <i>Arcella</i> 植 物 性 鞭 毛 蟲 <i>Enocephalon</i> | 形 體 <i>Pyxidicula</i> 鱗 殼 蟲 <i>Euglypha</i> (大 型) (群 體) | | 裸 口 目 <i>Tritrigimostoma</i> (大 型 之 斜 管 蟲 <i>Chilodonella</i>) | 裸 口 目 <i>Trochila</i> | 裸 口 目 <i>Forodon</i> -之 類 似 種 下 毛 目 游 仆 蟲 <i>Euploites</i> | (游 泳 性 輪 蟲) 鞍 甲 輪 蟲 <i>Lepadella</i> 腹 毛 類 輪 蟲 <i>Chaetonotidae</i> |
| 低 負 荷 | BOD 10mg/L 以 下 NOD > BOD | 線 鞭 蟲 <i>Peranema</i> | <i>Centropyxis</i> | | 下 毛 目 <i>Chaetoptira</i> | 下 毛 目 <i>Blepharisma</i> | 下 毛 目 <i>Spirostomum</i> | 環 節 動 物 <i>Aeclosoma</i> 熊 蟲 腹 輪 蟲 |
| 低 負 荷 (硝 化) | NOD + BOD 5mg/L 以 下 | | <i>Yaginicola</i> 獨 居 蟲 <i>Carchesium</i> | 倒 錐 蟲 <i>Acineta</i> | 裸 口 目 <i>Calyptotricha</i> | 裸 口 目 <i>Spirostomum</i> | 裸 口 目 <i>Coleps</i> | |

(日本下水道協會, 1990), NOD: 氮需氧量

86 廢水生物處理程序常見問題實務探討

1. 進行微生物相觀察工作時，因微生物具有多樣性，水樣狀況應以優勢菌種(數量較多數)為代表，當觀察到有多種微生物相，因每種微生物代表之意義不同，應以優勢菌種(或優勢順序)為觀察結果。不能僅以看到有某低溶氧微生物存在，即斷定水樣溶氧不足。
2. 表 3 內容係依都市(生活)廢水為樣本作成，不同產業(或各廠)廢水存在之微生物應有其獨特性，對照表 3 內容應有 90%以上之可運用性，其小部分差異點需各產業(或各廠)自行建立相關性。
3. 表 3 內容再增加下列說明會更適用：
 - (1)於超高負荷部分增加「分散性細菌」。
 - (2)於標準負荷偏高部分增加「草履蟲」。
 - (3)原生動物欄之纖毛蟲類欄整個資料往下移一些，對照上會更貼切實際。
 - (4)增加低溶氧性指標性微生物資料，分別如下：
 - a. 低溶氧：螺旋體、動物性鞭毛蟲、植物性鞭毛蟲、異毛目扭頭蟲、草履蟲。
 - b. 極低溶氧：螺旋體、動物性鞭毛蟲、植物性鞭毛蟲、白硫絲菌。

九、結 語

工廠廢水處理系統之生物處理單元，其操作複雜性高，受廢水性質影響亦較明顯；而國內中小型工廠因規模因素，人員流動率較高，除專業能力較為不足外，相關之經驗傳承亦較欠缺；於廢水處理異常狀況發生時，較未能採取適當之處置。因此，專業之訓練與資料之蒐集更形重要，於專業之訓練上，可參加環訓所開辦之專責人員訓練；於資料之搜集上，則有賴現場操作人員平時之準備。

由於廢水生物處理特性及相關可行改善方案眾多，本文謹以摘要方式透過相關章節進行介紹，所能詮釋內容有限；業界如有該方面之需求，除專業之訓練與資料之搜集外，建議可善用政府資源，申請技術協助，以獲得技術支援。

十、參考資料

- 1.林季螢、牟敦剛，活性污泥生物活性特性探討，工業污泥防治，第 37 期，p.47~63。
- 2.吳先琪、王美雪、施養信、劉泰銘等譯，廢水微生物學，國立編譯館主譯出版。
- 3.陳國城，廢水生物處理學，國立編譯館主編，茂昌圖書有限公司印行，1991。
- 4.吳宗榮、蔡基湧編著，水及廢水分析，復文書局出版。
- 5.林榮廷、徐清正、陳維政、鄭仁川，環境微生物學精要，文笙書局經銷。
- 6.張訓中，活性污泥鬆化現象及其控制，工業污染防治，第 13 期，p.169~176。
- 7.張聖雄，活性污泥膨化現象之處置研析，工業污染防治，第 90 期，p.31~47。
- 8.廢水處理單元設計及異常對策，經濟部工業局發行，財團法人中技社出版，1998。
- 9.賴耿陽編著，界面活性劑應用實例，復漢出版社印行。
- 10.廢水處理功能生物診斷技術，經濟部工業局發行，財團法人中技社出版，1995。