

廢水處理

活性污泥膨化現象之處置研析

張聖雄*

摘要

一般產業界於廢水處理上遭遇活性污泥膨化現象 (sludge bulking) 時，常採用各式應變措施進行控制，但引起異常狀況之原因多，致使可能無法有效控制，導致處理水質持續惡化，直至部分應變措施奏效後處理水質才逐漸恢復。部分產業因廢水特性之故，處理系統常每隔一段時間即會發生污泥膨化現象，造成現場操作人員之困擾。筆者有鑑於此，蒐集近年來之相關研究論文並予以彙整分析，包括引起污泥膨化之絲狀菌特性（生理特性、鑑定工作）、活性污泥膨化之可能主要原因及絲狀菌種類與其關係、相關防治措施及案例探討，並依據文獻內容進行綜合性討論，期能讓業界充分瞭解後，於一但遭遇相關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】1. 污泥膨化 2. 絲狀菌

*中技社綠色技術發展中心工程師

一、前　　言

產業界致力於提升產品價值，增加全球競爭力之同時，對於產業之永續發展工作亦持續進行；部分廠商更為了符合 ISO 14001 驗證系統對於環保工作持續改善之精神，因此願對因生產造成之污染投入必要之人力及物力，以做好污染防治工作。

在產業界有心經營下，國內環保工作已達到相當之水準，惟廢水處理系統因工業廢水特性之影響，仍有技術無法徹底克服之處，如泡沫過量、活性污泥膨化等。產業界於廢水處理上遭遇活性污泥膨化現象（sludge bulking）時，常採用各式應變措施進行控制，但引起異常狀況之原因多，致使可能無法有效控制，導致處理水質持續惡化，直至部分應變措施奏效後處理水質才逐漸恢復。部分產業因廢水特性之故，處理系統常間隔一段時間即會發生污泥膨化現象，造成現場操作人員之困擾。

何謂活性污泥膨化現象？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，沉澱池中污泥叢迅速堆積升高導致部分污泥溢流，如圖 1、2、3 所示，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 SV_{30} 介於 700~950ml/L，但幾小時後 SV_{30} 常降為 400~600 ml/L，膠羽鬆散且絲狀菌不多（絲狀菌分類為 0~1）、污泥不易從沉澱池溢出，嚴重時添加混凝劑控制即可。而絲狀菌過度生長之原因與控制措施則相對較為複雜，因此本文即針對絲狀菌過度生長導致之污泥膨化現象進行分析討論。

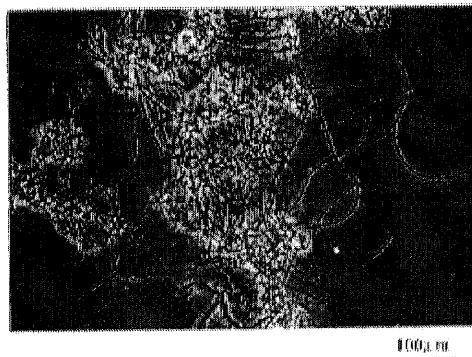


圖 1 顯微鏡下之污泥膨化現象



圖 2 污泥發生膨化之 SV_{30} 情況

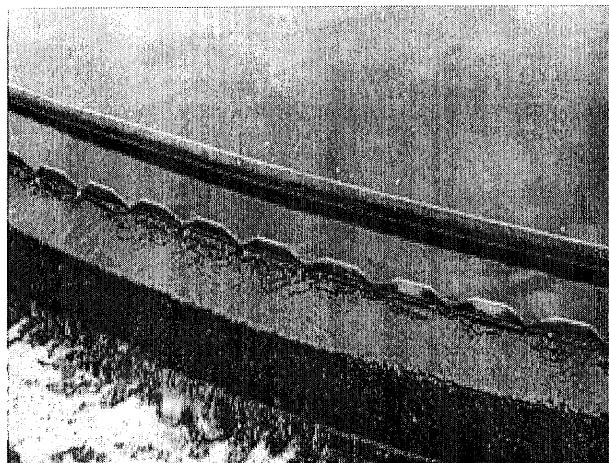


圖 3 膨化時沉澱池之污泥毯慢慢升高

二、絲狀菌之特性資料

依據資料顯示^[1]，造成污泥膨化之原因生物，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；通常引起污泥膨化的場合，絲狀微生物為 *S. natans* 之報告相當多。但是大多未進行純種分離及菌株鑑定，且型態觀察亦有所不足；因此，很難判斷絕大多數之膨化現象皆由 *S. natans* 引起。

S. natans 為絕對喜氣性菌，在相當寬廣的溶氧濃度範圍皆能增殖，於溫度 15°C 以上、pH 5.8~8.1 較適合它的生長。*Bacillus* 菌在純粹培養下為絲狀增殖，*B. subtilis*、*B. mycoides* 為原因生物之可能性亦極大；含大量硫化物之廢水，則有 *Thiothrix* 菌之增殖。

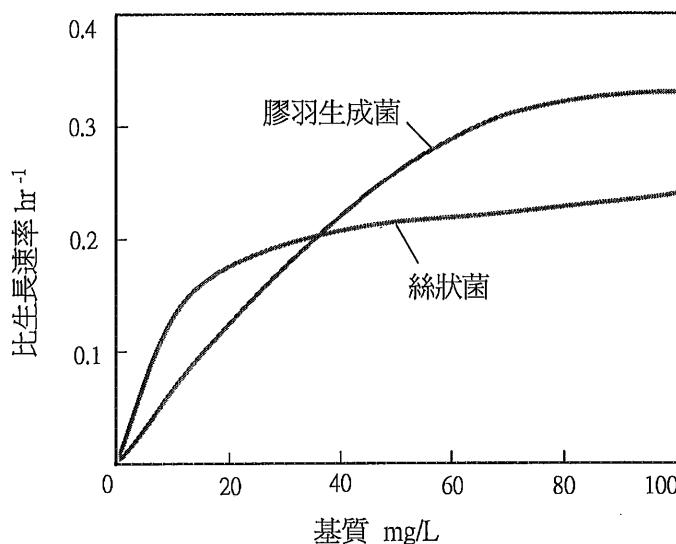
一般而言，絲狀菌之比增殖速率較細菌為低；因此，絲狀菌在生存競爭環境中如欲得勝，在於環境突遭變異時，對其他細菌之增殖速度形成抑制，對絲狀菌抑制較小，如此才會形成優勢。有關絲狀菌之特性，歸納如下：

- 1.與膠羽生成菌相比較，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。
- 4.絲狀菌比膠羽生成菌對環境有較廣之適應範圍。

如將膠羽生成菌與絲狀菌進行生理特性比較，可得表 1 資料，膠羽生成菌與絲狀菌比生長速率之比較如圖 4。

表 1 膠羽生成菌與絲狀菌生理特性比較^[2]

| 特性 | 膠羽生成菌 | 絲狀菌 |
|------------------|-------|-----|
| 最大基質利用率 | 高 | 低 |
| 最大比生長速率 | 高 | 低 |
| 體內呼吸率 | 高 | 低 |
| 低基質濃度時比生長速率之降低情形 | 大 | 普通 |
| 對飢餓之忍受程度 | 低 | 高 |
| 低溶氧時比生長速率之降低情形 | 大 | 普通 |
| 有機物過量時積蓄有機物之能力 | 高 | 低 |
| 以硝酸根為電子接收者之能力 | 有 | 無 |
| 高量攝磷之能力 | 有 | 無 |

圖 4 膠羽生成菌與絲狀菌比生長速率之比較圖^[2]

對於絲狀菌種類之鑑定工作，目前有型態辨識及分子生物鑑定兩種^[5]，摘要說明如下：

1. 絲狀菌型態辨識

可藉由是否有分枝、其分枝是真分枝或假分支、細胞外層是否具有外鞘、細胞內是否具有硫粒與隔膜、細胞是否會移動、細胞長度與寬度、鈉式染色與格蘭式染色等型態辨識。Eikelboom 依據上述的各項特性^[5]，針對絲狀菌歸納提出辨識方法，共有 21 種絲狀菌可藉此區分。

2. 分子生物鑑定方法

Ribosomal RNA 在生物遺傳演化的過程中，可用來當成生物親緣遠近的指標，分析生物種類之類緣；由 Ribosomal RNA 基因資料庫可對比出相對應之物種，透過引子（primer）或探針（probe）的設計，應用於絲狀菌之偵測。螢光原位雜合（Fluorescence In-Situ Hybridization，FISH）方法便是可以利用一段特異性探針直接偵測出絲狀菌的種類，目前已有 22 種絲狀菌偵測探針，可作為直接偵測絲狀菌種類之工具。

污泥中絲狀微生物之存在量需予以量化；一般有分成 7 類及 5 類之別，最常用 5 類法，係以 0、1、2、3、4 代表。其代表意義如下：

0：膠羽中幾乎沒有絲狀菌存在。

1：有少量絲狀菌存在。

2：適度的絲狀菌存在。

3：大量的絲狀菌存在。

4：過多的絲狀菌存在。

三、活性污泥膨化之原因

活性污泥膨化之原因大致上有：菌種變異、有機負荷及食微比不當、營養劑不足、負荷突變及曝氣流型不良等因素^[3]，說明如下：

3.1 污泥細菌種類之影響

活性污泥之菌種，基本上有絲狀菌及非絲狀菌兩種，而生物污泥之沉降性係由污泥膠羽形成，污泥膠羽之凝結必須依賴絲狀菌及少量之膠羽纏繞而成，當廢水中溶氧較低，或膠羽團中溶氧不高時，絲狀菌立即大量生長，由污泥團內部伸出於外，

這些延長伸出部分將污泥塊隔開，使其無法結合成較大污泥團而沉澱，其中在低溶氧能大量生長的有 *Sphaerotilus natans*，在低食微比能生長的有 *Microthrix parvicella*，在高含硫量時容易生長的有 *Thiothrix spp.* 及 *Beggiaota spp.*；在低溶氧時其他細菌之生長遲緩受抑制，而使 *S. natans* 之生長較 zoogloal 族群之生長為快，而後者係活性污泥生長良好沉降性佳之指標。部分學者亦發現污泥中如沒有足夠之絲狀菌，則污泥膠塊之形成會太弱或分散為小塊而無法沉降，同時污泥中若有部分較短之絲狀菌，則可包圍纏繞部分污泥而沉降。

3.2 曝氣池之溶氧量太低

絲狀菌大量生長是造成污泥膨化的主要原因，但絲狀菌在活性污泥系統中之生長卻受曝氣池中溶氧濃度之影響，美國柏克萊大學教授 Jenkins^[3]指出絲狀菌之生長始於污泥塊內部溶氧較低處，Palm^[3]之實驗亦說明低溶氧為絲狀菌生長之主要原因，而這些實驗中亦發現 *S. natans* 為主要之菌種。*S. natans* 在長期低溶氧狀態下可順利生長繁殖，而其他細菌之生長則較遲緩或受抑制。

3.3 有機負荷（食微比，F/M）過高或過低

3.1.1 有機負荷過高

當進流水中含有大量容易分解之碳氫化合物，因這類物質容易被分解利用，在短期內造成某種細菌之大量生長，耗用大量之氧氣，使曝氣池中之溶氧無法維持，溶氧降低則導致 *S. natans* 絲狀菌大量生長而產生污泥膨化之困擾。

3.1.2 有機負荷過低

當曝氣池中之有機負荷較低時，因絲狀菌擁有較大之比表面積，於低營養基之情況下，仍能持續吸收營養進行生長繁殖，相較於其他細菌受營養不足抑制時，易成優勢菌種。當絲狀菌形成優勢菌種後，進行有機負荷調整，亦無法改變優勢情況，便產生污泥膨化之困擾。

3.4 營養劑及微量元素不足

活性污泥之生長必須供給適當之營養劑及微量元素，美國賓州大學吳永成博士^[3]之實驗亦證明 $SVI > 200 \text{ ml/g}$ 之污泥膨化主要為氮源不足所致；Wood 及 Tchobanoglous^[3]在其報告中指出，木材廢水因缺乏多種微量營養素而使絲狀菌大量生長。

3.5 低 pH 值及低溫等不良生長環境

當進流水之 pH 值較低且未經適當調整時，曝氣系統中容易有絲狀菌之生長。而曝氣池水體溫度太低時，生物之新陳代謝作用緩慢，不利於膠團性細菌之生長繁殖，部分絲狀菌不受影響，在生長速度上佔優勢，此時容易形成污泥膨化現象。

3.6 曝氣系統之突增負荷

系統之突增負荷包括水力及有機物突增，這兩種突增負荷有時加上機械設備故障也會造成菌種之改變，形成絲狀菌生長之有利條件。產業界由於生產程序之需要，常間歇性排放廢水或排放高濃度廢水，若未做適當充分之調和而直接排入曝氣池，極易有突增負荷之情形發生。

依據文獻資料綜合活性污泥膨化之原因，大致歸納出絲狀菌種類與發生原因之關係如表 2 所示。

表 2 絲狀菌種類與發生原因^[5]

| 適合環境 | 絲狀菌種類 |
|-----------------------------|--|
| 低溶氧 | <i>Sphaerotilus natans</i> , Type 1701, <i>Haliscomenibacter hydrossis</i> , <i>Microthrix parvicella</i> |
| 低食微比、 污泥齡長 | <i>Microthrix parvicella</i> , <i>Nocardia</i> spp., <i>Haliscomenibacter hydrossis</i> , <i>N. limicola</i> Type 021N, 0042, 0675, 0092, 0581, 0961, 0803 |
| 氮、磷營養鹽不足 | <i>Thiothrix</i> spp. <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Haliscomenibacter hydrossis</i> , Type 021N, 0041, 0065 |
| 具生物易分解之基質 | Type 1863 |
| pH (< 6) | <i>Haliscomenibacter hydrossis</i> , Type 0041, 0675 |
| 有 H ₂ S 及腐敗廢水情況下 | <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>Thiothrix</i> spp. Type 021N |

四、污泥膨化之處置對策

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^[3]，以下分別說明之：

4.1 暫時性之處置對策

4.1.1 添加化學氧化劑

如添加氯 (Cl_2) 或過氧化氫 (H_2O_2) 用以抑制污泥中絲狀菌之生長，這種處理方式係假設絲狀菌有較大之面積/體積比，且為優勢菌種，而對化學抑制劑之加入較具敏感性，易被破壞去除；所需加氯量經驗值為 0.1 至 10 公斤次氯酸鈉之量加入於 1,000 公斤之迴流污泥中，可得理想之效果。但若加入過量會導致微生物及原生動物類 (Protozoa) 的大量死亡，嚴重影響生物處理效果，並造成處理水混濁，故必須小心控制其使用量。此外，亦有以 10~20 mg/L 次氯酸鈉之劑量投入曝氣池中，使其濃度於曝氣池中維持在 5~10 mg/L 間。

4.1.2 添加無機性之混凝劑

加入混凝劑於曝氣池之出流水中，可以改善污泥在沉澱池之沉降性，經常使用之混凝劑有多元氯化鋁、鋁鹽、鐵鹽及石灰等，而石灰及鋁鹽之添加會增加污泥中之惰性污泥量，且加入過量會影響曝氣池生物系統之操作，使用這種方法因加入混凝劑量不易控制，且未能根本消除絲狀菌生長之原因，故僅具短期治標效果。

4.1.3 增大污泥迴流量及廢棄污泥量

增大污泥迴流量主要功能為保持污泥於曝氣系統內，減少污泥於沉澱池中堆積或溢出；增加廢棄污泥量，一方面可以達到減低沉澱池之污泥毯界面，另一方面可以排除部分之絲狀菌，但是此兩種方法，皆未能完全抑制絲狀菌之生長或克服膨化現象。

4.2 較長時間之處置對策

4.2.1 調節供給氧氣量

由於絲狀菌在低溶氧時易大量生長，故調節曝氣系統之供氧量亦為可行之處理方法之一，若系統之曝氣設施完善，可經由操作調整增加供氧量，以提高曝氣池之溶氧值；若曝氣設施之容量有限，無法增加供氧量，則必須增設曝氣設施或更換高傳氧效率之散氣設備，以便充分供給所需之氧量。次外，曝氣池常有死角，為曝氣攪拌不足之處，亦須加以克服。若純以節約能源之觀點而言，曝氣池之「最低」溶氧量維持在 0.5 mg/L 即可，但因污泥在沉澱池仍需呼吸消耗氧量，故曝氣池出口處之溶氧宜維持在 1.5 mg/L 左右。

4.2.2 供給必須之營養劑

污泥膨化經判斷若因營養劑不足而引起，則必須加入適當之營養劑。如氮、磷及其他 Fe^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等微量營養鹽，以改善生物之生長。通常流入曝氣池之進流水其 $\text{BOD} : \text{N} : \text{P} = 100 : 5 : 1$ ，若不足必須適時適量地添加。

4.2.3 調整系統之食微比

就活性污泥系統之控制及負荷而言，較適當之改善方法為檢討及調整系統之食微比，可行之方法為控制進流廢水之流量，藉增加迴流污泥量提高曝氣池中懸浮性固體物（MLSS）之濃度，若系統負荷量增加，相對的也必須增加曝氣供氧量，若系統處理容量不足，則必須增建處理設備以平均系統之有機負荷。

4.3 永久性之處置對策

4.3.1 曝氣池採用栓塞流（plug flow）型

曝氣池之基本設計上有兩種型式，即完全混合式（complete mix）及栓塞流式（plug flow），前者係使進流廢水與曝氣池中混合液完全攪拌混合，後者係較狹長式之流型，栓塞流型之廢水多做徑向之混合，此種流型初期基質濃度較高，可增加膠團桿菌（zoogloea）之生長，而後濃度作梯度遞減，亦使沉澱性較佳之生物族群大量生長，而增加污泥之沉降性。

4.3.2 在系統中加入缺氧段（anoxic zones）

在曝氣系統中加入缺氧段，通常應用於有硝化設計之廢水處理廠以加強除氮作用，若將此缺氧段改設於曝氣池之入口處，使進流廢水及迴流污泥在此區域內，且以機械設備攪拌混合，經觀察可以使污泥膨化現象降低且改善處理水水質，其原因係在缺氧狀況下可抑制屬絕對好氧性絲狀菌之生長，且於缺氧狀況下

受硝化作用或因吸收基質之影響，而改變細菌生長情況使絲狀菌無法形成優勢菌種。實際執行時只需在曝氣池入口處以隔板作成密閉空間（需必要之機械攪拌）造成部分區域產生缺氧狀況即可，目前有部分工廠採用 A/O 處理系統，即屬此種方式。

4.3.3 採用多段分隔式（multi-stage and multi-compartment）曝氣系統

設置上之改善係在栓塞流系統中加入分隔牆（板），使成多段分隔曝氣，這種方式兼有上述栓塞流及缺氧區段之優點。

五、案例探討

茲整理近年來有關污泥膨化問題之案例相關內容，予以系統化整理，期能彙整出較具邏輯性之處置方案，以供產業界參考。

5.1 案例一^[4]

某紙廠之廢水量約 25,000CMD，設計處理流程如圖 5 所示，由於 SV₃₀ 達 950 ml/L，經依據文獻資料顯示，微鏡觀察污泥中含有大量之絲狀菌（絲狀菌分類 3），沉澱池出流水含有大量之細小污泥，導致處理水不符合放流水標準。經診斷各項可能問題，由輔導單位以模廠試驗方式測試各項操作參數，並據以研訂相關對策，經逐項執行後，順利排除污泥膨化問題，讓處理水質恢復正常。

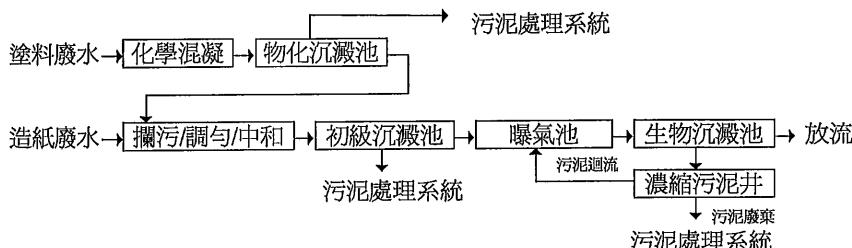


圖 5 某紙廠廢水處理流程

5.1.1 問題診斷

- a. 經顯微鏡觀察污泥狀況，發現膠羽鬆散，且存在大量絲狀菌；另優勢菌種為膜口目、豆形蟲、尾絲蟲及波豆蟲、膜帶蟲等動物性鞭毛蟲，研判系統處於低溶氧狀態，且有曝氣死角。
- b. 由深層採樣器及手提溶氧計測試曝氣池的溶氧分佈發現，溶氧值層面分佈隨水池深度增加而遞減。池體有效池深 6.7 m，池表面溶氧值為 2.5 mg/L，池下 3 m 處溶氧值為 1.0 mg/L，池下 5 m 處溶氧值為 0 mg/L。
- c. 曝氣池之停留時間過久，總共約 40.4 小時。在操作上易造成污泥解體，放流水上澄液混濁。

5.1.2 對策研訂

- a. 減少曝氣池停留時間：原設兩座曝氣池，停留時間分別為 18.6 小時及 21.8 小時，改成只使用第一曝氣池（暫停第二曝氣池之使用），總停留時間由 40.4 小時降為 18.6 小時。
- b. 以次氯酸鈉殺菌：於迴流污泥中以 50~75 mg/L 之流量加入次氯酸鈉，以連續添加 2 小時為 1 階段，每階段添加後 1 小時以顯微鏡觀察曝氣池之生物相，以判斷加藥終點，總共加藥量為 4.7 m³（曝氣池之有效容量為 19,363 m³）。
- c. 增加攪拌動力及溶氧量：第一曝氣池原使用 5 台表面曝氣機（75Hp），增加為 8 台使用運轉，由於提高動力密度，池內溶氧不均勻問題獲得部份改善。
- d. 污泥脫水機之濾液改排入曝氣池：脫水機濾液原排入初沉池入口，考慮濾液中含有 polymer 成分，改排入曝氣池將有助於膠羽之混凝沉澱。

5.2 案例二^[5]

某 PU 基布染整工廠，主要布種為棉布，漿料為澱粉，大宗染料為直接性染料，廢水量約 500CMD，採用活性污泥法處理，曝氣池體積為 4,000m³，MLVSS 約 6,000 mg/L，進流水 COD 約 4,500 mg/L，出流水約 400~500mg/L，SVI 約 320 ml/g。經顯微鏡觀察污泥中含有大量之絲狀菌（絲狀菌分類 2~3），並伴隨產生大量泡沫。經診斷可能問題據以研訂相關對策，且逐項執行後，約 30 日後順利排除污泥膨化問題。

5.2.1 問題診斷

- a. DO 電極功能異常，顯現出較高之數值；DO 濃度低於 0.5 mg/L 已達 2 個月。
- b. 生產量減少，廢水量也隨之減少；長期低食微比約 0.09 kg COD/kg MLVSS-day。
- c. 依顯微鏡照片顯示，由於菌絲無分枝、無移動、無硫粒、無隔膜、絲狀體會彎曲，判斷可能為 Type 0581、N. limicola 與 M. parvicella 三種絲狀菌。

5.2.2 對策研訂

- a. 加強排泥：增加廢棄污泥量。
- b. 提高食微比：提高至 0.15 kg COD/kg MLVSS-day。
- c. 增加曝氣量：將溶氧提高至 1.5 mg/L 以上。
- d. 將四槽之曝氣池改採 AICAR (Alternative Intermittent Cyclic Aeration Reactor) 程序操作，即利用控制各槽在不同時間有極度差異之操作條件，使得各種微生物無法過度優勢生長，間接抑制絲狀菌之過度繁殖。

AICAR 處理程序之基本操作為（1）廢水交替進流兩系列曝氣池。（2）在其中一個系列曝氣池進流廢水，並控制前段曝氣池曝氣、後段曝氣池不曝氣，不曝氣區域作為沉澱使用。（3）另一個系列曝氣池則全面曝氣。（4）兩個系列曝氣池交替使用，以達到連續進流、沉降與出流之功能。

5.3 案例三^[5]

某長纖與混紡布染整廠之廢水量約 12,000 CMD，廢水處理流程如圖 6 所示。經顯微鏡觀察污泥中含有大量之絲狀菌（絲狀菌分類 2~3），無大量泡沫產生。經診斷各項可能問題，透過小型試驗方式測試各項操作參數，並據以研訂相關對策，經逐項執行，40 天後順利排除污泥膨化問題，四個月後生物處理效率提升至 90%，有效降低後續物化系統之加藥量(由 800 mg/L 降為 300 mg/L)。

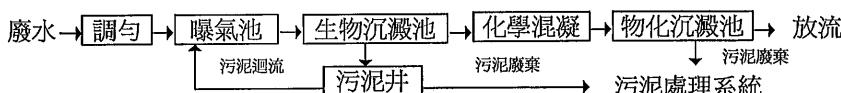


圖 6 某染整廠廢水處理流程

5.3.1 問題診斷

- a. 食微比過高：因廢水量與污染值增加，導致食微比為 0.6 kg COD/kg MLVSS-day。
- b. 曝氣池溶氧值偏低：第 1 池溶氧長期低於 0.5 mg/L，第 2、3 池溶氧小於 1.0 mg/L。
- c. 缺乏氮源：廢水中含量低於 10 mg/L NH₃-N。
- d. 依顯微鏡觀察結果，再經活性污泥 DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) 分析及 FISH 鑑定，研判絕大部分絲狀菌為 Type 1701。

5.3.2 對策研訂

- a. 增加曝氣量：將第 1 池溶氧提高至 1.0 mg/L 以上，第 2、3 池溶氧提高至 2.0 mg/L 以上。
- b. 添加化學氧化劑：於迴流污泥入口處連續 21 天添加 20 mg/L 的次氯酸鈉。
- c. 補充營養鹽：添加尿素補充氮源。
- d. 調整流量分配：日夜間之調勻池抽水量避免差異過大，維持沉澱池溢流率小於 25 m³/m²-day。
- e. 降低食微比：曝氣池之 MLSS 由 2,700 mg/L 提高至 5,600 mg/L，食微比由 0.6 kg COD/kg MLVSS-day 降至 0.31 kg COD/kg MLVSS-day。

5.4 案例四^[6]

某生產純對苯二甲酸之石化工廠，廢水量約 4,000 CMD，採用 UASB+活性污泥法處理，活性污泥法處理廢水濃度 COD 約 1,200~1,600 mg/L，兩座曝氣池體積各 6,000 m³，MLSS 約 1,800~2,200 mg/L，SVI 約 180~210 ml/g。由於污泥沉降性不佳，且處理效率需提升。經專家學者會同深入了解後，將兩座曝氣池修改為 AICAR 處理程序。執行後有效抑制污泥膨化影響，SVI 值降為 100~120 ml/g，處理後 COD 值由約 250~400 mg/L 降為 120~200 mg/L，順利排除污泥膨化問題及增加處理效率。

六、綜合討論

1. 廢水處理廠現場人員需了解絲狀菌分類意義，以便在研擬適當之防治方案時，較容易有共識。另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，對防治工作上有絕對幫助；然絲狀菌之鑑別工作，非專業人士將無法勝任。據筆者了解，工研院環安衛中心、成功大學環工所及生物技術開發中心皆擁有偵測探針之設備，且曾完成鑑定相關菌種，業界若需進行絲狀菌體鑑定工作，可逕洽諮詢作為參考。
2. 廢水處理廠於遭逢絲狀菌膨化困擾時，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。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，以作為再污泥膨化時之參考因應對策。
4. 配合系統之調整及添加化學氧化劑，基本上已可有效防治污泥膨化現象；但對於因廢水特性因素使然，常會發生污泥膨化現象之工廠，建議應規劃較永久性之處置對策，如設置 Plug flow、A/O 等處理方式。國內已有相當多之實績，如中華紙漿、萬有紙廠、正隆大園廠、正隆新竹廠、內湖污水處理廠、中壢工業區污水廠等皆用 A/O 處理系統，部份另配合運用 Plug flow 法。經筆者查詢統

計，厭氣槽水力停留時間約 1 小時，確能有效剋制絲狀微生物，處理成效良好。

5. AICAR 處理系統是經由修正傳統活性污泥法而來，利用各槽在不同時間有極度差異之操作條件，因環境變化較大，各種微生物皆不易形成優勢生長，程序中之沉澱階段即屬製造無氧段以抑制絲狀菌，經實廠測試，已確定可抑制絲狀微生物，另因池內污泥濃度有效提高，可增加生物處理效率。缺點為管線更改工程較多，且後續操作上較複雜。建議對常有污泥膨化困擾之工廠，且曝氣池有兩座以上（最好為四座），可考慮改採該系統處理。

6. 污泥膨化現象發生時常伴隨大量泡沫，其原因本文未能深入討論，但依據文獻資料顯示^[7]，於曝氣池表面形成有泡之浮渣，大多為 Nocardia 屬（亦屬絲狀微生物），型態上屬為放射菌，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。防治方案為：

- a. 處理過程避免造成廢水長期停留之死角，因放射菌常在靜水表面繁殖。
- b. 提高 BOD 負荷，如縮短 SRT。
- c. 降低 MLSS 等方法。

參考資料

- 1.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。
- 2.張維欽，厭氣選種槽對活性污泥固液分離之效應，廢水高級處理技術講習會。
- 3.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。
- 4.謝金勳、黃國寶、陳明坤、李光裕，活性污泥膨化問題之改善對策及成果，1995 污染防治技術實務研討會。
- 5.梁德明、周珊瑚、鄭幸雄、曾怡禎，活性污泥膨化與泡沫問題的診斷與防治案例研究，2002 產業環保工程實務技術研討會。
- 6.梁德明、周珊瑚、鄭幸雄，AICAR 生物程序處理工業廢水案例研究，2001 產業環保工程實務技術研討會。
- 7.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。