

## 廢水處理

# 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

雷憶湘

## 摘要

工業廢水具有複雜多變的特性，要妥善處理必須在軟、硬體充分配合下才能成功，但國內長期以來普遍有重硬體、輕軟體的心理。本文筆者以親身經歷介紹四個國內以生物助劑作為操作技術改善工業廢水生物處理系統成功的案例。其中大都未增加任何處理設備，或僅作小幅度硬體改善，但都獲致了令人滿意的改善成果，部分成果更是超出預期。

事實證明，某些工業廢水處理廠若能經過適當的事前診斷，可在僅作小部份硬體修改或完全不作修改的情況下，以管理及操作的技術達到處理功能改善的目的。至於以有機營養劑作為廢水處理微生物菌群的調整工具，應解讀為操作技術改善。一般為整體改善的綜合成果，有機營養劑並非唯一因素，通常有點像臨門一腳。最後希望本文對國內現存數量相當多的工業廢水處理廠能有所啓示作用。

【關鍵字】1.生物助劑

綠活力科技有限公司經理

## 2 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

### 一、前言

「生物處理」為工業廢水處理系統中非常重要且相對環保的單元，但國內環工界及業界長期來普遍有重硬體、輕軟體的觀念，使得許多生物處理單元因管理及操作不當而功能不彰。筆者於十餘年前，進行工廠輔導時即經常遇到相關案例，馬健雄先生發表的「SBR 化工廢水處理系統改善」<sup>[1]</sup>即為當時一典型以操作技術改善工業廢水生物處理系統的輔導案例。該案改善前放流水總化學需氧量（TCOD）= 1,500mg/l，改善後 TCOD=239mg/l，溶解性化學需氧量（SCOD）= 194mg/l，已符合當時放流水標準。在硬體設施上僅作小部分修改，主要改善成果來自管理及操作策略的改善。故筆者深深體會，唯有在軟、硬體相互配合下，工業廢水生物處理系統方能發揮正常功效，而操作技術相對於硬體設備，除如經濟部工業局出版之「活性污泥法操作手冊」及「廢水處理功能生物診斷技術」等技術手冊外其他技術資料較少見。

近年來一方面國內傳統產業面臨國際性嚴峻的競爭，亟思降低成本，另一方面傳統的硬體改善工程，因缺乏操作技術的支援，產業界常花費大量金錢卻得不到相對的功效。故以操作技術改善工業廢水生物處理系統已成為國內環工界及業界新的思維方向，並已具初步成效。

### 二、基本觀念探討

經濟部工業局出版的「廢水處理功能生物診斷技術」技術手冊，於國內工業廢水生物處理操作技術方面可謂重要著作，但診斷過後，現場操作人員固然有部分問題因而解決，但面對問題常有缺乏稱手調控方法的感嘆。尤其在部分公認難處理的業別諸如造紙及染整等，常束手無策，筆者於實務上亦面臨技術瓶頸。

如眾所週知，一般工業廢水的有機污染來源經常為不易生物分解的有機物，廢水中微生物能簡易分解、利用的有機物質含量不高；碳/氮/磷比通常偏低或不均勻且缺乏微量物質。依據歐陽嶠暉教授編著「下水道工程學」<sup>[2]</sup>，影響活性污泥之因素為：1.營養分，2.溫度的影響，3.pH 的影響，4.有害物質，5.無機性廢水。營養分為

影響活性污泥的第一因子，在缺乏營養分的情況下，極容易成為微生物生長限制因子，無法提供生物處理系統中微生物菌群增殖所需，使生物處理系統效能不佳，造成排放水 COD 值居高不下或系統不穩定。傳統上一般均採用  $BOD:N:P = 100:5:1$  的比例添加尿素及磷酸以補充氮、磷的不足，但對於微量元素通常受限於技術問題無法添加，有機營養劑的上市為微量元素的添加提供了技術上的可行性。

基本上為微生物提供了適當的生長環境如足夠溶氧、適當酸鹼度、足夠營養素之後，微生物可利用工業廢水中的碳源（即 COD）生長，達到生物處理的功用。同時由於微生物對環境的適應力極強，故馴養的功能在生物處理系統極為重要，如筆者碩士論文所研究的「有害物質對旋轉生物接觸法（RBC）處理的影響」中證實經馴養後微生物對有害物質的容忍度均顯著提高，同理為微生物提供了適當的生長環境並經馴養後對難分解物質的利用效能亦應能提高。但自國外引進的有機營養劑售價偏高，業者一般無法接受，為因應國內市場需求，數年前即有國內業者開發類似產品以降低成本。

另外對於絲狀菌，傳統上因缺乏控制絲狀菌的良好方法，廢水處理廠的操作人員對絲狀菌普遍具有恐懼心理，對其造成的膨化（bulking）問題常束手無策，若使用傳統殺絲狀菌的化學藥劑，則不但絲狀菌被殺死，正常微生物亦受到危害。但絲狀菌亦有其功能（絲狀骨架理論）：筆者於十餘年前受教於美國 JMM 公司時首次接受到絲狀菌於廢水生物處理系統不全然是壞角色的觀念，甚至某些處理廠一定得操作在絲狀菌偏多的情況，處理水質才會好，而由於絲狀菌的攔除作用通常在絲狀菌偏多的情況下，沉澱池上澄液均較清。爾後於實際工作中又體認到於工業廢水的生物處理，於有限的停留時間下，往往膠羽菌及絲狀菌的分解力尚不足以完全達到要求，但藉絲狀菌大分子量及高比表面積所形成的網狀架構，有絆除及吸附截留的能力，可提昇處理效果。若能維持膠羽菌與絲狀菌各季節適當比例，可使兩菌群生態共存發揮最大功效與最小困擾，目前技術上已成功利用以單純有機營養劑的調節及已開發出的可抑制絲狀菌，但不會危害正常微生物原本功能的天然有機萃取物，故可充分利用絲狀菌的功能，並可維持膠羽菌與絲狀菌各季節適當比例，來達到上述目的。換個角度看，若某個生物系統內絲狀菌大量繁殖成為常態而非異常現象，

#### 4 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

不正表示此環境適合絲狀菌生長，何不順勢操作，僅略微控制並調整其與膠羽菌群的比例，充分利用其特性，比硬要將它除去，技術上要容易的多。在實務上亦可利用營養劑配比的改變，調整微生物族群將原本相對粗略的工業廢水生物處理系統的操作推向更微觀的境界。

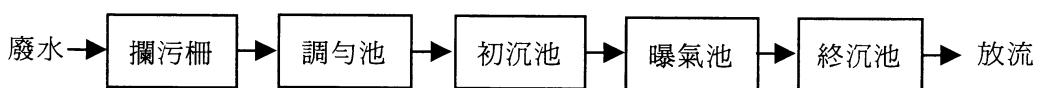
以下所介紹的案例中，除傳統的軟體技術外，以有機營養劑作為工具來調整生物處理系統中菌群，扮演了一定的角色。

### 三、實例一

造紙業廢水因國內目前主要以廢紙為原料，污染度較採用原木漿高許多，為公認的難處理工業廢水，傳統的硬體改善工程，常花費大量金錢卻得不到相對的功效，甚至碰到技術瓶頸，逼使政府放鬆排放限值，其中的膨化問題更是常令現場操作人員束手無策，若使用傳統殺絲狀菌的化學藥劑，則不但絲狀菌被殺死，正常微生物亦受到危害。

以下所述的造紙廠前後歷經三家有機營養劑產品，前後約兩年時間終獲良好成果，實為研究以軟體技術改善生物系統難得的資料。

該廠係國內典型以廢紙為主要原料生產工業用紙的造紙廠，廢水處理系統係以活性污泥法為主要處理單元的二級處理廠，其方塊處理流程圖如下：



該廠的活性污泥系統原以傳統的尿素及磷肥補充營養源，整體功能可達一般水準，但放流水 COD 值無法達到放寬前的排放標準（ $COD \leq 100\text{mg/l}$ ），且因易受外

來因素干擾而使得系統穩定度差，尤其於冬季低溫環境下常常產生膨化問題，須借助大量化學性高分子助凝劑來解決克服，但成效有限且增加成本。因硬體改善花費頗大實非利潤微薄的造紙業所能負擔，且根據相關經驗硬體改善也無一定成功的把握，所以尋求以軟體技術來改善，並以開放態度引進廠商進場測試，目標為 COD 去除率提升與克服膨化問題。以下即為改善的歷程：

### **3.1 甲廠商：**

民國 88 年元月份該廠活性污泥系統發生膨化問題時，甲廠商進場整治，甲廠商產品係由具農業背景人士所研發，利用其對植物營養的專業跨行至廢水微生物有機營養劑。方法上採用一系列有機營養劑產品配合原使用的尿素與磷肥作為菌群營養源添加，但膨化問題未能有效改善反而有加劇的情況，顯示其產品的特性似乎有增強絲狀菌的趨勢，於是無功而返。

### **3.2 乙廠商：**

同年三月改由乙廠商進廠改善，改善的訴求為強調針對膨化問題與處理效能提升兩方面進行雙向互動操作。主要以有機營養劑完全替代原施用的尿素與磷肥，希望能提升 COD 去除率；另以絲狀菌的天然抑制劑改善污泥膨化問題，兩種產品同時雙向調控。經三天後立即明顯克服污泥膨化問題、絲狀菌明顯斷裂，但也因此完全破壞絲狀骨架的結構，背離絲狀骨架理論、無法有效利用兩菌群生態適宜共存量來發揮最大吸附拌截功效，再加上其產品特性以快速型增強膠羽菌為主（無緩效型氮肥與絲狀菌食物源輔助），尤其在高溫天候下（生長速率：膠羽菌 > 絲狀菌）易使兩菌群分佈差異越大；極易加速老化速率或分散型細菌增多，以致常常無法提昇去除效能，造成無法結案（只有解決膨化問題），同年八月初退出此一計劃案。

### **3.3 甲廠商再度進場：**

同年八月中旬甲廠商再度進場，利用相同系列產品與方法施用添加有機營養源。其產品如前述既為絲狀菌增強的營養源，對已由乙廠商所造成的以細菌相為優勢、絲狀菌為弱勢的不平衡絲狀骨架理論的菌群系統，似乎又起了正面作用。新系統再度進行動態競爭重組，逐步建立完整合乎絲狀骨架理論的生態系

## 6 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

統，以致自九月下旬起連續一兩個月水質非常良好而穩定，此一結果實足以改變傳統環工操作者對生物處理的營養劑添加輕忽的態度，改而相信有機營養產品應用的奧妙。探究原因为在此系統再度動態平衡競爭重組中，因其產品本為絲狀菌的增強源，可使系統由一個極端（幾乎細菌相）慢慢轉向兩菌群共存的絲狀骨架系統。高溫環境又牽制絲狀菌的過度生長，就在各方配合下創造這一個神奇現象，證實利用軟體技術可有效提昇去除效率。但最後因氣溫轉涼而又發生嚴重膨化的老問題，遲遲無法找出對策而使廠方另謀對策。

### 3.4 丙廠商：

丙廠商於同年十二月中旬切入此一計劃至今，在不改任何操作與硬體下，利用系列有機營養劑添加應用，並綜合甲、乙兩廠商的優缺點加以改良，應用的基本原則為活性污泥系統既控制污泥膨化，又能維持絲狀骨架共沉以求 COD 去除效率提昇：1. 菌群優勢競爭：以高基質營養源來快速提昇膠羽菌的生長，進而搶佔絲狀菌所需營養源而達生長的抑制，維持適當比例以藉膠羽重量增加與絲狀骨架收斂來解決膨化沉降問題。2. 絲狀骨架維持：以低基質營養源來支撐絲狀菌骨架維持所需營養源，避免因要快速提昇膠羽菌而完全抑制絲狀菌的生長。加上絲狀菌生理代謝週期較慢、耐受度強、具網狀架構的絆除及吸附截留能力，更可強化提昇處理效果，並有延遲老化與操作穩定性強的特性。利用兩種有機營養劑的特質與互補性，並配合尿素來調碳氮比與生長特性的動態平衡，以求掌控菌群優弱分佈與增加操控穩定度來避免溫度影響與老化問題。免去甲乙兩廠商的缺點，又在該廠充分配合與互動認知的下，前兩月的良好狀況又恢復了，且一直操控在預期內，水質相當良好而穩定（COD < 100mg/l），溫度也不再影響操作效果，更可依季節調整適宜的膠羽菌與絲狀菌分佈比例，在絲狀菌骨架理論下，維持穩定水質與簡易現場操作性。

### 3.5 討論：

1. 下表 3.1 為各廠商針對該紙廠改善計劃的效果評比：

**表 3.1 各廠商改善計劃效果評比**

項目	甲廠商	乙廠商	丙廠商
營養分添加種類	有機營養劑 有機菌肥 尿素與磷肥	有機營養劑 膨化抑制劑	有機營養劑 (兩種配方) 尿素與磷肥
膨化抑制效果	-	+	+
水質改善效果	+	-	+

+表促進

-表無效或反效果

2.由上述結果可知，有機營養劑僅係一統稱的概念，由於配方的不同會導致不同的結果，乙廠商的配方對抑制絲狀菌功效良好，甲廠商的配方卻會增強絲狀菌，最後丙廠商找到適宜配方，施用一種有機營養劑與尿素為主配方；另一種有機營養劑與磷肥為調配劑，共同調控碳氮比與生長特性的動態平衡組合，以求掌控菌群優弱分佈與增加操控穩定度來避免溫度影響與老化問題，在絲狀菌骨架理論下，維持穩定水質與簡易現場操作性。故有機營養劑的成功應用，實有賴供應商能提供整體的軟體技術服務，及現場操作人員的良好雙向互動，有機營養劑的應用僅是多提供了一種調控方法，並非萬靈丹。

3.並不一定要完全以有機營養劑取代傳統的尿素及磷肥，完全取代不一定會更好，有時反而糟糕。而一般代理商引進的進口有機營養劑並無法提供因應特殊狀況調整配方的服務，更遑論整體軟體技術服務（因其多非環工專業人士），此實為其除價格因素外難以推廣的另一重要原因。本例的三廠商均為國內廠商，但因組成人員專業背景的不同，整體技術能力仍有所差異。

4.本例造紙工業廢水的生物處理系統，以傳統觀念於有限的停留時間下，微生物的分解力尚不足以完全達到處理要求，但因為能成功的維持膠羽菌與絲狀菌各季節適當比例，使兩菌群生態共存發揮最大功效，並藉絲狀菌大分子量及高比表面積所形成的網狀架構，利用其絆除及吸附截留的能力，提昇處理效果，達到要求的處理水質。

## 8 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

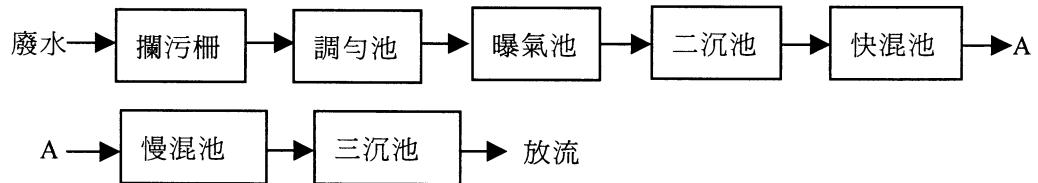
5. 本案經濟上以減少使用的尿素、磷肥及化學性高分子助凝劑，省下的費用支付有機營養劑的費用足足有餘，充分達成以軟體技術改善生物系統功能的目標。

### 四、實例二

染整業廢水為除造紙業外另一公認的難處理工業廢水，也面臨傳統的硬體改善工程，常花費大量金錢卻得不到相對的功效，甚至碰到技術瓶頸的問題，逼使政府放鬆排放限值。

以下所述的染整廠前後雖僅歷經一家有機營養劑產品，但經多次調整配方才獲得良好成果，亦為研究以操作技術改善生物系統難得的資料。

該廠係專業的染整廠，廢水處理系統係以活性污泥法為主要處理單元的三級處理廠，其方塊處理流程圖如下：



該廠的活性污泥系統原以傳統的尿素補充營養源，磷肥未添加，曝氣池的水力停留時間約 14 小時，有系統不穩定的問題。生物系統較正常時，靠後段三級處理大量添加化學藥劑放流水 COD 值可勉強達到放寬前的排放標準（ $COD \leq 100\text{mg/l}$ ）。但化學藥劑花費昂貴且當生物系統稍微不正常時，三級處理亦無法有效處理。該廠原係由專業的環工碩士所設計，硬體部份經評估並無重大疏失。若再作大規模改善勢必朝高級處理方向，其初設費及操作費以業者目前瀕臨虧損的狀況，實難以負擔，

且根據相關經驗硬體改善也無一定成功的把握，所以尋求以操作技術來改善，目標為 COD 去除率提升。以下即為改善的歷程：

#### **4.1 第一階段（第 1 至 8 天）：**

利用有機營養劑產品配合原使用的 1/6 尿素量作為菌群營養源添加，但處理水質未能有效改善，反而有變差的趨勢。

#### **4.2 第二階段（第 9 至 17 天）：**

經檢討判斷第一階段可能因為整體營養素不足，造成處理水 COD 值不降反升。第二階段乃將有機營養劑添加量提升約 13%，尿素增加至原施用量的 50%，處理水質漸趨平穩，與添加前一個月相較，原處理水 COD 值，最大值與最小值相差達 167mg/l，顯示系統及不穩定。本期平均處理水 COD 值雖無明顯下降，但最大值下降達 120mg/l，且最大值與最小值差縮減為約 40mg/l，顯示系統穩定性明顯提高。

#### **4.3 第三階段（第 18 至 24 天）：**

經檢討判斷本廠整體營養素仍然不足，因為依一般經驗染整廢水中含有氮、磷，故認為完全不用補充，或如本廠般僅依理論  $BOD : N : P = 100 : 5 : 1$  的比例，減量添加部分尿素，磷酸則完全不添加。但依據實廠經驗，染整廢水中所含的氮、磷，微生物不一定能完全吸收利用，且常呈利用率不高的現象。故本廠可能原本所添加的尿素即不足，非僅僅缺乏微量元素。因而經過與現場操作負責人討論後，決定將尿素添加量增加至原施用量的 100%，有機營養劑添加量則維持上階段使用量不再提升。此期間平均處理水 COD 值明顯下降達 40mg/l，且最大值再較上一階段下降達 50mg/l，且最大值與最小值差仍維持在約為 40mg/l，顯示系統功能及穩定性均明顯提高。

#### **4.4 第四階段（第 25 至 44 天）：**

此階段因尿素突然缺貨，使原本的計畫中斷，僅保持添加有機營養劑，以維持生物系統為目標。現場水質因營養素不足明顯變差，其間也曾嘗試增加有機營養劑用量，但效果不彰，故仍改回原用量。此經驗與上述紙廠的經驗恰可相互應證，即並不一定要完全以有機營養劑取代傳統的尿素及磷肥，完全取代不一定

會更好，有時反而糟糕。

#### 4.5 第五階段（第 45 至 52 天）：

此階段尿素供貨恢復正常後，再將尿素添加量增加至原施用量的 150%，有機營養劑添加量則不再提升。此期間平均處理水 COD 值明顯較測試前下降達 50mg/l，顯示系統功能明顯提高。

#### 4.6 第六階段（第 53 至 56 天）：

至第五階段此測試可謂已得到良好的結果，業主亦已滿意成果。但經雙方討論後研判仍有改善空間，故再將尿素添加量增加至原施用量的 200%（仍低於理論需要量），有機營養劑添加量則不再提升。經測試處理水 COD 值，得到令雙方驚訝的結果，處理水 COD 值再明顯較測試前下降達 110mg/l，顯示系統功能再明顯提高。且因處理水 COD 值自測試前平均約 220 mg/l，下降至約 110mg/l，經後段三級處理可輕易達到放寬前的排放水標準（ $COD \leq 100\text{mg/l}$ ），且以最小  $COD = 101\text{mg/l}$  而言，若考慮允許實驗誤差已可稱作達到放寬前的排放水標準（ $COD \leq 100\text{mg/l}$ ）。若以放寬後的排放水標準而言，則可完全省去後段三級處理，可省下可觀的化學藥劑費用。

#### 4.7 討論：

1. 下表 4.1 為該廠改善各階段的效果：

表 4.1 各階段改善效果

項目	營養源添加	功效
測試前一個月	尿素 (理論量的 46%)	平均 COD=220mg/l 最大 COD=390mg/l 最小 COD=140mg/l
第一階段 (第 1 至 8 天)	尿素 (理論量的 7.7%) 有機營養劑 (尿素理論量的 2.3%)	平均 COD=220mg/l 最大 COD=260mg/l 最小 COD=160mg/l
第二階段 (第 9 至 17 天)	尿素 (理論量的 23%) 有機營養劑 (尿素理論量的 3%)	平均 COD=220mg/l 最大 COD=270mg/l 最小 COD=170mg/l
第三階段 (第 18 至 24 天)	尿素 (理論量的 46%) 有機營養劑 (尿素理論量的 3%)	平均 COD=180mg/l 最大 COD=220mg/l 最小 COD=160mg/l
第四階段 (第 25 至 44 天)	有機營養劑 (尿素理論量的 3%)	平均 COD=220mg/l
第五階段 (第 45 至 52 天)	尿素 (理論量的 69%) 有機營養劑 (尿素理論量的 3%)	平均 COD=170mg/l 最大 COD=240mg/l 最小 COD=140mg/l
第六階段 (第 53 至 56 天)	尿素 (理論量的 92%) 有機營養劑 (尿素理論量的 3%)	平均 COD=110mg/l 最大 COD=129mg/l 最小 COD=101mg/l

2.該廠在改善前屬於整體營養素不足的狀態，但此實為傳統觀念上的盲點，因依一般經驗染整廢水中含有氮、磷，故認為完全不用補充，或如本廠般僅依理論  $BOD : N : P = 100 : 5 : 1$  的比例，減量添加部分尿素，磷酸則完全不添加。但依本廠測試結果，證實原先的論點，即染整廢水中所含的氮、磷，微生物不必然能完全吸收利用，且常呈利用率不高的現象。故該廠原本所添加的尿素即不足，非僅缺乏微量元素，最後將尿素添加量增加至理論量的 92%，再以有機營養劑補充

## 12 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

微量元素，才得到驚人的結果。

- 3.該廠的生物相在改善前屬於絲狀菌偏多，但膠羽菌不足，未能形成良好的絲狀菌骨架結構，有較多碎膠羽、水色混濁且原生動物量少又活動性差。經前後近兩個月的調整，試出有機營養劑與尿素的適當比例及添加量，使絲狀菌與膠羽菌達到本系統的平衡點，在絲狀菌骨架理論下，維持穩定水質與簡易現場操作性。最終本系統仍有相對多數的絲狀菌，曝氣槽混合液的  $SV_{30}$  仍高達 90~92%，但已形成良好的網狀架構，已充分改善濁度及碎膠羽的問題，並有具活性的多樣性原生動物。由本案例可應證絲狀菌稍多且  $SV_{30}$  偏高，並不一定構成問題，只要污泥結構正常，仍可得到良好水質。
- 4.同時由於第四階段時尿素意外缺貨，應證並不一定要完全以有機營養劑取代傳統的尿素及磷肥，完全取代不一定會更好，有時反而糟糕。而以營養劑調整生物系統實有賴與現場操作人員的良好雙向互動，必須體認功能改善係整體考量，有機營養劑的應用僅是多提供了一種調控方法，若當萬靈丹經常會失望。以本例而言，初期並未得到明顯效果，若雙方未能有良好雙向互動及觀念溝通，極可能會因效果不彰而停止測試，如此就不可能達到最後驚人的結果。
- 5.以經濟性而言，本廠若單看營養劑費用，尿素使用量為原使用量的 200%，並增加了有機營養劑費用，操作成本較先前提高。但若以整體而言，因生物處理系統功能改善，而減少了後段三級處理化學藥品費，同時減少了化學污泥產生量，減少了污泥清運處理費，整廠的操作費用是減少的，且因為整體功能的改善，使業者免除了經常面對放流水可能不合格的壓力。若以放寬後的排放水標準而言，則因省去後段三級處理，更可省下可觀的化學藥劑費用及污泥清運處理費。

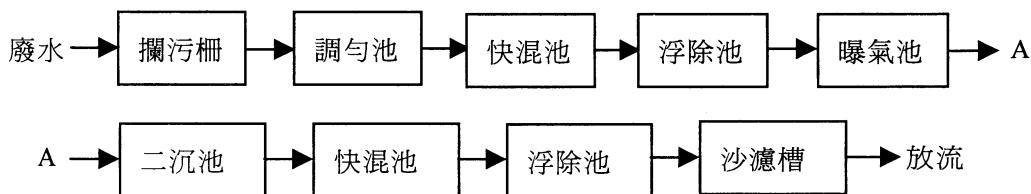
## 五、實例三

該廠為一石化中間廠的廢水處理廠，硬體設備新穎，但因處理的原廢水來自廠區內多處不同製造工場，水質複雜且變化大，甚至有部分被懷疑具有生物抑制性。因硬體設備堪稱完善，故平時處理水 COD 均低於 100mg/l，僅特定某股廢水排入時

會造成異常，使處理水 COD 略高於 100mg/l，必須靠後段三級處理系統才能達到放流水標準。因其硬體設備經其自身環工專業人士（其本身擁有環工技師資格），研判並無問題，故尋求以操作技術解決問題。

該廠前後歷經自行改善、生物製劑（進口菌種）、國外產製有機營養劑及國內產製有機營養劑多項測試，最後仍由國內團隊以整體操作改善技術獲得成功，其間前後歷時一年餘，並曾做小部份硬體改善，亦為一極具參考價值的個案。

該廠係專業的石化中間廠，廢水處理系統係以活性污泥法為主要處理單元的三級處理廠，其方塊處理流程圖如下：



該廠的活性污泥系統原以傳統的尿素及磷酸補充營養源，曝氣池的水力停留時間大於 48 小時。平時生物系統均正常，生物處理後可直接排放，僅特定某股廢水排入時會造成異常，使處理水 COD 略高於 100mg/l，必須靠後段三級處理系統才能達到放流水標準。該廠原係由專業的環工技師所設計，硬體部份投資頗大且方完工不久。經評估應可以操作技術來改善，目標為系統穩定率提升。以下即為改善的歷程：

### 5.1 第一階段（自行改善期）：

該廠的曝氣池為完全混合式深槽曝氣池原設計為並聯操作，但硬體工程完工後，啟動試車並不順利，經其內部檢討後，變更部分管線，改為串聯操作。

完全混合式曝氣槽為傳統上工業廢水處理常使用的設計，其優點為對突增負荷的容忍度較高，其缺點為相對於栓流式曝氣池，因缺少濃度梯度效果，在動

## 14 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

力學理論上效率較低。且對於存在較難生物分解有機物的廢水，較難得到較好的最終處理水質。所以實務上在對突增負荷的容忍度與系統處理效率間取捨的折衷方案為，使用數個串聯的完全混合式曝氣槽。筆者個人的經驗，數年前也曾經僅僅將某工業廢水處理廠兩座曝氣池從並聯操作改為串聯，在短短一週內即將處理水 COD 由約 400mg/l，劇降 50% 至約 200mg/l。

經上述小幅度硬體改善，並改為串聯操作後，系統平時均功能正常，生物處理後可直接排放。但每當特定某股廢水排入時會造成異常，使處理水 COD 略高於 100mg/l，必須靠後段三級混凝浮除系統加砂濾才能達到放流水標準。但浮除系統在生物系統異常時，常發生出流水懸浮固體物（SS）偏高，使後段砂濾槽負荷偏高，致使反沖洗頻率偏高，造成操作上的困擾。經其內部多次討論認為生物處理系統應有軟體改善空間，故朝此方向研究。

### 5.2 第二階段（生物製劑）：

其後曾有廠商引進自國外進口的生物製劑進場測試，但因無明顯效果且價格頗貴，未持續使用。

### 5.3 第三階段（進口營養劑）：

至民國 89 年間，國內已陸續有進口商在推廣以營養劑改善生物處理系統的觀念。本廠也進口了一批作為測試，本系列產品係混合有機、無機營養劑，經短期測試（約十餘天），但亦因無明顯效果且價格頗貴，未持續使用。

### 5.4 第四階段：

於第三階段測試剛結束時，因丙廠商異常現象仍未解除，丙廠商應邀至現場協助解決。丙廠商到達現場後隨即與現場操作人員討論本廠長期操作狀況，其內部判斷異常原因及先前各項應變及改善的歷史紀錄。並立刻到現場評估各項硬體設備及作生物相觀察，隨後當日雙方即開會討論，丙廠商於會議中提出以下建議：

1. 由生物相觀察，並無明顯生物抑制現象發生，而是絲狀菌稍多，生物相偏年輕，較像有機突增負荷的現象。若以一般系統而言問題不大，但因本廠曝氣池為深槽設計，且經筆者評估進入二沉池前脫氣不足，造成污泥嚴重上浮，也造成污

泥流失及三級處理負荷過重。生物相的調整不是短時間能奏效，為解決當務之急且為了長期操作考量，首先應改善脫氣系統。

- 2.生物系統污泥流失造成三級浮除系統出流水懸浮固體物過高的問題，因為浮除系統去除固體物的能力建立在氣/固比 (A/S ratio) 上，因為系統供氣能力受硬體限制，故只能朝減低固形物的方向努力。經評估本廠的狀況，溶解性化學需氧量 (SCOD) 仍低於 100mg/l，故三級處理系統僅需去除過高的懸浮固體物即可，所以原設計添加的 PAC (多元氯化鋁) 應可不添加，僅添加高分子助凝劑即可。
- 3.長期上可考慮採用有機營養劑調整微生物菌群體質，以減少異常發生機會。調整方向上，因本廠對絲狀菌較一般廠敏感，故必須長期控制在絲狀菌偏低的狀況。

討論完後業者完全接受筆者建議，當日即進行脫氣系統改善。會後丙廠商為證明本人對三級浮除系統的判斷，隨即下場親自操作，經過改為僅添加高分子助凝劑並稍微調整操作策略後，在短短兩小時內即解決了浮除系統出流水懸浮固體物過高的問題，並節省了化學藥劑費用。業者並於第二天即完成了脫氣系統的改善工程，業者的燃眉之急隨即獲得解決。

隨後業者即開始進行以有機營養劑調整生物系統的長期工作，操作上採用有機營養劑完全替代原使用的尿素及磷酸。經約一個月調整後整體狀況良好，平時放流水 COD 均能維持在 70mg/l 以下，偶而異常生物系統出流水懸浮固體物偏高時，可以三級處理系統輕易克服。

## 5.5 討論：

- 1.下表 5.2 為各廠商針對該改善各階段的效果評比：

## 16 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

表 5.2 各階段改善效果評比

	改善內容	功效
第一階段 (自行改善)	曝氣槽由並聯改串聯	COD去除率大幅提高
第二階段 (生物製劑)	添加生物製劑	無明顯效果
第三階段 (進口營養劑)	添加有機、無機混合營養劑	無明顯效果
第四階段	1.改善脫氣系統 2.三級處理不加 PAC，僅加 polymer 3.以有機營養劑調整生物處理系統微生物菌相	1.減少沉澱池污泥上浮 2.減少浮除系統出流水 SS 3.生物系統穩定性增加

- 2.該廠在自行進行第一階段小部份硬體改善，並做了軟體的操作策略改善，將曝氣槽由並聯改串聯後，已獲得相當不錯的成效，應證軟體改善的功效。但在硬體上仍留有小部分的改善空間，因為深槽曝氣系統在國內應用尚少，較少設計及操作經驗。故本廠脫氣系統在作小改善後，沉澱池污泥上浮問題獲得改善。
- 3.三級處理系統的改善卻是另一種啓示，即現場問題排除經常要回歸理論基礎面，書本上不可能對操作現場發生的問題提出完整相對應的答案。但若回歸理論基礎面思考答案可能非常清楚，本案例即以去除目標為何，去除機制為何，去做簡單思考即得到解答，不但解決了問題也減少了藥劑費用。
- 4.第三階段採用的進口營養劑，雖然觀念上基本並沒錯，但因為缺少了事前診斷及整廠軟體技術服務，所下的藥方若依一般配方，以本廠的特殊狀況自然難以成功。
- 5.第四階段丙廠商成功的關鍵，實在是築基於多年來對硬體及軟體的了解，以及業者積極配合的態度，所以可以在第一時間找出關鍵問題並能立即改善短期問題。因為有了正確的診斷及應急改善的成功，長期改善的成功只是時間的問題。但若沒有應急改善的成功解決了業者的燃眉之急，爭取到長期改善的時間，並建立雙方的互信，長期改善是完全沒有成功的機會的。
- 6.營養劑的應用並無一定的規則，必須能依實廠狀況通權達變，例如前兩案例結果

均為有機與無機營養機搭配使用效果較好，但本廠卻可以有機營養劑完全替代尿素及磷酸，顯示因廢水成分的不同使用上不能墨守成規，配方也必須能機動調整。

7. 本案例因硬體的因素使微生物菌群必須控制在絲狀菌偏少的菌相，與前述兩案例頗有差異，也不完全適用絲狀骨架理論，但因該廠曝氣槽擁有相對較長的水力停留時間，比較不需要絲狀菌的吸附作用，故絲狀骨架理論也非全盤適用，故為因應工業廢水複雜多變的特性，在應用各種理論時應審慎，終究是以達到良好處理功效為目標。

8. 廢水生物處理系統菌群中，擔負主要處理任務的是細菌類，因細菌類觀察不易，所以一般主要以原生動物作為指標生物。但細菌類本身對抑制性物質經馴養後一般均能顯著增加容忍度，就如同目前台灣醫院中常見的黃金葡萄球菌，已經必須用到目前最高級的抗生素（萬古黴素），前幾代的抗生素均已有抗藥性而無效了。所以工業廢水處理中所謂的生物抑制物質，並不一定會成為處理限制因子，如本文前言提過的馬健雄先生「SBR 化工廢水處理系統改善」<sup>[1]</sup>案例中，原設計因甲醛廢水被認定具有生物毒性，所以設計了氧化前處理，而胺類廢水也被認為有生物抑制性，但最後結果均證實並不影響生物處理系統，既設的甲醛廢水氧化前處理系統也因而停用。本案例中原先某股廢水也被懷疑具有生物抑制性，但後來證實反而是「有機突增負荷」的效應來的大，所以在進行「工業廢水軟體技術改善」時，事前診斷必須謹慎，就如醫師診斷採用的望、聞、問、切一般，才能避免因診斷錯誤而下錯藥方。

9. 本案以經濟性而論，所作的硬體改善均屬小工程，所費不多可謂小兵立大功。有機營養劑係替代原使用的尿素及磷酸，並未增加費用。

## 六、實例四

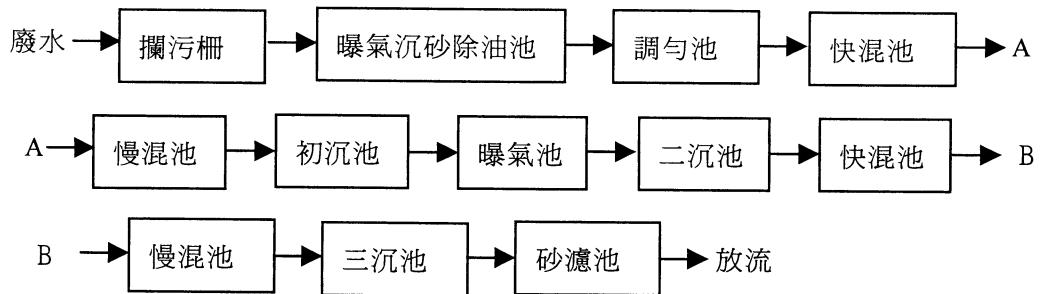
相較於國外先進國家公共污水處理廠以處理都市生活污水為主，國內工業區污水處理廠為具有特殊代表性的公共污水處理廠。因為工業廢水複雜多變的特性，且經常含有生物難分解的有機物質，故其操作上的困難度遠高於國外的都市污水處理

## 18 工業廢水生物助劑處理技術改善實例

廠，所以其管理及操作的軟體技術自成一格，很難自國外直接引用軟體技術。

以下所述為某工業區污水處理廠生物系統操作改善過程，亦為研究以操作技術改善生物系統難得的資料。

該污水廠係綜合性工業區的污水處理廠，廢水來源中染整廢水佔有相當比例，處理系統係以活性污泥法為主要處理單元的三級處理廠，其方塊處理流程圖如下：



國內由政府開發的工業區污水處理廠，向來均由國內少數大型工程顧問公司所設計，也是國內最高設計水準，該廠亦不例外。

該廠的活性污泥系統原設計以傳統的尿素及磷酸補充營養源，但實際操作中因考慮原廢水中染整廢水佔相當比例，而一般觀念常認為氮、磷均已足夠，故長期以來均未添加。曝氣池的水力停留時間約 10~12 小時，有系統不穩定的問題。平時均靠後段三級處理大量添加化學藥劑使放流水 COD 值可勉強達到排放標準 ( $COD \leq 100\text{mg/l}$ )。但化學藥劑花費昂貴且當生物系統稍微不正常時，三級處理有時亦無法有效處理。該廠原係由國內最高設計水準的專業工程顧問公司所設計，硬體部份經評估並無重大疏失。若再作大規模改善應無必要，所以尋求以操作技術來改善，目標為生物處理系統穩定性及 COD 去除率提升。經初步判斷該廠操作策略並無重大錯誤，故改善的重點放在以有機營養劑調理微生物菌群，並在進行中間與現場操作人

員配合加強生物相觀察，並將觀察結果做為調整操作參數的依據，以將生物處理系統的操作朝向更細緻的方向。以下即為改善的歷程：

### 6.1 有機營養劑添加方式：

以人工添加方式，每日一次直接倒入曝氣池中。因考慮廢水中應存在部分可供微生物利用的氮、磷及成本考量，故有機營養劑的添加目標以補充微量元素的不足為主，故添加量相對偏低，且考慮假日相對廢水量較少，故假日亦不添加。前四日為快速補充整體營養素不足，添加量為 3ppm（百萬分之一），自第六天起降為 1ppm，但其間為因應系統變化視實況機動調整，平日均維持在 1ppm，異常時最高用到 3ppm。

### 6.2 結果與討論：

#### 1.COD：

測試一個月後，經檢視生物處理系統水質分析資料發現，生物處理系統出流水 COD 平均值約下降 30mg/l，且 COD 最大值與最小值間的波動幅度減少達約 70mg/l，且 COD 最大值仍低於前月的平均值。所以明顯表示無論生物處理系統穩定性及 COD 去除率均有顯著改善成效，可謂充分達到預期目標。

#### 2.透視度：

測試前一個月本廠二沉池出流水透視度最低約 7 公分，最高約 15 公分，一般約在 10 公分上下。測試一週後，本廠二沉池出流水透視度最低約 10 公分，最高約 20 公分，一般約在 15 公分上下，與前一個月相較透視度約提高了 5 公分。

#### 3.生物相：

該廠原有生物相呈現污泥膠羽較鬆散，有較多碎膠羽，上澄液混濁，有少量絲狀菌，原生動物量少、缺鐘形蟲且活動性不佳。經調理後，膠羽菌與絲狀菌得到合理調配，行成良好絲狀骨架網狀架構，膠羽結構緻密，鮮少碎膠羽，上澄液水色澄清，僅有色度幾乎無濁度，因而造成二沉池出流水透視度的改善。整體原生動物量多、活性大呈標準活性污泥法的生物相，諸如鐘形蟲、壘枝蟲及輪蟲均有試當比例。

#### 4.該廠在測試期間，與現場操作人員互動良好，並協助其學習由生物相觀察及 30

分鐘沉降試驗的觀察應用到操作參數的調整。主要以污泥齡控制為主，但是以觀測現象判斷污泥係過度老化或過度年輕化，而不是計算所得的污泥齡。MLSS（曝氣槽混合液懸浮固體物）濃度判讀也必須參考生物相觀察結果，因為 MLSS 值可能含有無機成分在內，甚至 MLVSS（曝氣槽混合液揮發性懸浮固體物）中也可能包含原廢水中的有機固體物或死去的生物細胞，則其不但不能幫助去除有機污染物反而增加生物系統負擔。筆者即曾經歷某污水處理廠因污泥處理系統回流化學處理污泥混入活性污泥系統回流污泥中，使不論 MLSS 及 MLVSS 均偏高，且活性污泥顏色偏黑，若未作仔細生物相觀察，極可能誤判活性污泥已過度老化，而作出錯誤處置。

5.該廠的生物處理系統軟體改善已獲致可接受的成果，若能進一步測試補充部份無機氮源如尿素，可能可以得到更佳的成果，但因本廠平日並未使用尿素，受限於政府採購法臨時要使用有技術上的困難，相較於民間企業較無彈性，所以未能進行進一步測試，殊為可惜。

## 七、結論

- 1.國內有許多實例可證明，以操作技術改善工業廢水生物處理系統功能，有很大的發揮空間。但若較複雜案例必須花費較多經力及時間，如前例馬健雄先生<sup>[1]</sup>輔導案例前後歷經三個月，則僅能做部分示範性深入輔導個案。本文所介紹四個案例僅是加強印證此觀念，並希望能有更多有心人士能投身入此領域，以服務國內現存數量頗多的工業廢水處理廠。
- 2.國內相關軟體技術資料較缺乏，且由於國情之不同，國外的資料大都係針對都市綜合污水，與國內面對的「工業廢水」性質上差異頗大，引用時須特別注意。
- 3.工業廢水具有複雜多變的特性，要成功的執行生物處理系統操作技術改善，事前的現場勘查診斷極為重要。應分別針對硬體設施、操作參數、污泥負荷、生物相及長期水質資料、操作紀錄等軟、硬體如醫師診斷採用的望、聞、問、切一般，作審慎的全面評估，必須先有正確的診斷才能避免開錯藥方。故評估者應為資深

工程師且兼具軟、硬體技術，或以各具軟、硬體技術的團隊來擔任。

- 4.初步評估後的改善建議，應以軟體技術改善為優先考量，若必須作硬體改善以小部分改善為原則。至於大規模硬體改善則除非原設計有重大疏失，否則應待操作技術改善宣告無效後再進行。而事實上以國內目前的硬體設計水準，原設計有重大疏失的案例不多，故大多數案例均可以小部分改善或完全以軟體技術改善達到目標。以上所介紹的案例均可應證此說法，除了案例三的石化中間廠曾做了小部分的硬體修改外，其他三例均未動到硬體改善。
- 5.實際實施階段則現場嚴密監控（必須比原先更為微觀），及技術提供者與現場操作人員間的良好互動甚為重要。
- 6.「生物處理」雖為廢水處理單元中一非常重要的單元，但若以科學觀點而言，卻是一種很粗略的應用科學，若能將廢水生物處理系統作更微觀的調控，利用操作改善的方法，可使生物處理系統發揮更大的效用。由於微生物具有相當的潛力，在適當培養下生物處理系統往往能達到較原先更好的效果。廢水生物處理系統菌群中，擔負主要處理任務的是細菌類，因細菌類觀察不易，所以一般主要以原生動物作為指標生物。但細菌類本身對抑制性物質經馴養後一般均能顯著增加容忍度，就如同目前台灣醫院中常見的黃金葡萄球菌，已經必須用到目前最高級的抗生素（萬古黴素），前幾代的抗生素均已有抗藥性而無效了。所以工業廢水處理中所謂的生物抑制物質，並不一定會成為處理限制因子。
- 7.營養分為影響活性污泥第一因子，有機營養劑的應用理念即在以最符合自然的方法調整微生物菌群體質，使其發揮最大功效。也完全符合目前人體醫療朝向整合醫療而不迷信用藥的趨勢，如美國心臟病權威歐寧胥醫師（Dean Ornish）<sup>[3]</sup>，他即主張心臟病患只要改變生活型態、建立良好的親密關係，可以不靠藥物或手術而達到復原的效果。同樣的觀念可應用到同為生物的廢水生物處理菌群上，對於絲狀菌的控制也應著重在以營養劑的配方改變來營造相對較適合膠與菌的環境，而不是用藥來殺絲狀菌，如同人類生病服用西藥，其副作用通常多少會對人體正常細胞產生傷害。若用藥來殺絲狀菌，生物處理系統中正常菌種也會受到傷害，相對為較差方法。

- 8.生物處理微生物菌群的調控向來為生物處理系統操作的重要工作，目前除了傳統使用的污泥齡、溶氧等控制方法外又多了以營養劑調控的方法，且向來受現場操作人員懼怕的絲狀菌已能有效控制，甚至有時候更能充分利用其吸附及攔除能力，達到更佳的處理效果。在軟體改善技術上可謂多了一項稱手工具，但營養劑配方的調整仍需一些技術與經驗。
- 9.觀念上必須體認污水處理廠功能改善通常必須整體考量，有機營養劑的應用僅是多提供了一種調控方法，若當萬靈丹經常會失望。以前例二而言，初期並未得到明顯效果，若雙方未能有良好雙向互動及觀念溝通，極可能會因效果不彰而停止測試，如此就不可能達到最後驚人的改善成果。
- 10.國內因整體經濟大環境的關係，已鮮少有新建工業廢水處理廠，爾後國內廢水處理硬體部分的重頭戲應是在都市下水道及都市污水處理廠的建設。對國內眾多環工界而言，既有工業廢水處理廠的操作技術改善似可作為努力方向，但國內較缺乏對操作使用付費的觀念為推展的障礙。

## 八、參考資料

1. 馬健雄，SBR 化工廢水處理系統改善，工業污染防治季刊，第 42 期，pp.83~pp.113，民國 81 年 4 月。
2. 歐陽嶠暉，下水道工程學，長松出版社，pp.402~pp.405，民國 70 年 12 月。
3. 狄恩•歐寧胥（Dean Ornish）著，洪蘭譯，愛與生存—愛與親密關係的治療力量（Love & Survival –The Scientific Basis For The Healing Power Of Intimacy），天下生活股份有限公司，作者介紹，民國 89 年 2 月。