

工業污染防治技術叢書

廢水好氧處理論著彙編 (上)



經濟部工業局 編印

團長序

工業污染防治季刊自民國七十一年發行以來，承蒙國內、外專家學者及相關環保科技人士不吝提供論著，介紹環境保護與污染防治之技術與實務經驗，頗受各界好評。有鑑於過去同類之論著大多分散於各期刊中，參閱不易，因此本刊特將陸續分類相關之處理技術以編輯成冊，期能提供各界更方便收藏與參閱。

廢水好氧處理技術一直為業界常用之廢水處理方法，尤經國內外數十年的開發研究，廢水的好氧處理技術已成功地邁向更新的紀元，為更有效地提供數十年來發表於工業污染防治季刊內之好氧處理技術，因此本刊匯集了 16 年來刊載過相關之論著中摘選出 45 篇，分為上下兩冊，其中包含廢水好氧處理技術介紹與操作維護實務經驗等，期能提供各界參酌，然因彙編不易，內容如有疏漏之處，尚祈各界先進不吝指正為幸。

工業污染防治技術服務團

團長 鄭浩宗

中華民國八十九年三月



廢水好氧處理技術論述彙編(上)

	作(譯)者	期別	頁次
1. 傳統式擴散曝氣活性污泥處理法簡介	李俊德	1	1
2. 旋轉生物圓盤法在工業廢水處理之應用	歐陽嶠暉	1	5
3. 台灣地區廢水處理使用旋轉生物盤法之趨勢	林傳鏗	1	15
4. 塑膠濾料滴濾池設計考慮因素	潘丁白	1	21
5. 活性污泥系統操作與污泥特性關係之探討	王月花	1	27
6. 低濾率碎石濾料滴濾池處理法簡介	李俊德	2	37
7. 污泥容積指數(SVI)與活性污泥特性之關係	陳秋楊	2	41
8. 工業廢水處理技術(四)	李公哲	4	49
9. 廢水處理廠操作管理(一)—活性污泥系統(1)	歐陽嶠暉	5	67
10. 染整廢水活性污泥法設計之探討	許懋宗	6	83
11. 廢水處理廠操作管理(二)—活性污泥系統(2)	歐陽嶠暉	6	89
12. 活性微生物液應用於生物處理	孫啓碩	7	103
13. 廢水處理廠操作管理(四)	歐陽嶠暉	8	107
14. 滴濾法在廢水處理之應用	陳秋楊	10	113
15. 流動床生物膜反應槽	曾四恭	10	123
16. 氧化深渠之簡介及其應用	廖學賢	10	129
17. 論塑膠滴濾池於國內污染防治之應用	廖學賢	12	135
18. 活性污泥法中散氣式曝氣系統之設計(一)(散氣設備部分)	高信福	13	139
19. 活性污泥鬆化現象及其控制	張訓中	13	149
20. 活性污泥法中散氣式曝氣系統之設計(二)(鼓風機設計部分)	高信福	14	157
21. 活性污泥系統污泥控制對策之簡易判定方法	曾迪華	15	169
22. 投菌活性污泥法的研究及其應用	洪永哲等	17	175
23. 汞在活性污泥處理過程中動力平衡現象	吳知行	17	185
24. 工業廢水生物處理及應用	陳秋楊	18	195
25. 回分式活性污泥處理糖精廢水之研究— 倍克公司糖蜜素廢水改善個案輔導報告	張柏成等	19	225
26. 活性污泥處理系統的指標微生物	鄭育麟	20	233
27. 活性污泥鬆化難題的指標微生物—絲狀菌	吳錫昌等	24	267

傳統式擴散曝氣活性污泥處理法簡介

李 俊 德*

活性污泥法是一種連續性生物處理程序，其特點在於藉曝氣造成之紊流及攪拌以使好氧性微生物維持呈相當均勻的懸浮狀態，在有氧分子存在之狀況下微生物將可溶性及膠性性質之有機物氧化成水及二氧化碳。一般而言活性污泥處理程序接在初沈池之後操作，但也並非完全是如此。曝氣槽中廢水與微生物形成之混合液（mixed liquid）經生物作用後，流入重力沈澱池以進行固液分離之步驟。大部分微生物經沈澱池沈澱後，部分污泥迴流至曝氣槽前端而與入流廢水相混合，剩下多餘的污泥則進入污泥處理設施。活性污泥迴流率及其濃度決定了曝氣槽中混合液體懸浮固體濃度（MLSS），並保持其為一定值，在氧化過程中，某一數量的有機物被合成為新的細胞，其中有一部分再經過內呼吸作用，轉為能量，其餘部分則成為過剩污泥，整個氧化及合成的過程需要氧氣的供應，廢水中的揮發性物質可藉曝氣而達到相當之去除效果，金屬也會因累積在污泥中，而有部分的減少。活性污泥法依有機物負荷之不同而可以區分為高率（high rate）、傳統式（conventional）以及延長曝氣法（extended aeration）傳統式之活性污泥廠一般以柱塞流（plug flow）型式操作，停留時間約在4~8小時之間（以平均日流量計算），可採用表面式或沈水式之曝氣系統來供給氧氣，送風機（compressor）一般將壓縮空氣經由一系列的擴散管（diffusers）來達成沈水式之曝氣功能。但也有除了擴散管以外的裝置可以採用。如 static aerator 及 jet aerator。擴散系統可分為細泡（fine bubble）和粗泡（coarse bubble）一般常用於活性污泥系統之擴散管有以下幾種：安置於曝氣槽底多孔瓷板（porous ceramic plate）（細泡），連接於管端或管側之多孔瓷蓋或是塑膠管和瓷管（細泡），以合成纖維覆蓋；或細絲纏繞之管子（細泡或粗泡）；以及經特殊設計有多個開口的散氣管（spargers）（粗泡）。

常見之改良法：

有階梯曝氣法（step aeration），接觸穩定法（contact stabilization）和完全混合（complete mix flow）等方式，有時在曝氣槽中加入明礬或氯化鐵以增加去除磷效果。

技術地位：

活性污泥法是目前使用最廣而多變化的生物處理方式。

代表性裝備：

一般與空氣擴散及活性污泥系統有關之設備如下：

空氣擴散器，送風機，

應用：

可用於處理家庭污水及生物可分解之工業廢水，傳統式活性污泥法之主要優點在於其初設費低，尤其當放流水水質要求極嚴的情況下，更見其好處，可被生物處理和消化之工業廢水，可與

* 本小組委員
成功大學環工系教授

家庭污水水合併在傳統式活性污泥系統中處理。

限制：

BOD₅ 負荷有一定之限值；有機物負荷分配不均；需要4~8小時之曝氣時間；當水力負荷，有機物負荷以及毒性負荷變化太劇烈時，整個處理系統可能會失敗，操作複雜，費用高，送風機能量損耗大，且擴散器維護不易。

性能：

BOD₅ 去除率（傳統式活性污泥）85~95%

NH₃-N 去除率（無硝化系統）10~20%

氧吸收效率（Oxygen absorption efficiency）（家庭污水活性污泥處理系統擴散器）3~15%
（粗泡 3~7%；細泡：10~15%）

殘餘物：

以下為傳統式活性污泥法之 F/M 比值與過剩污泥之揮發性懸浮固體（VSS）之關係：

F/M 值	增加之 VSS
0.3	0.5 磅/去除 1 磅之 BOD ₅
0.5	0.7 磅/去除 1 磅之 BOD ₅

設計規範：

以下為傳統式活性污泥法之部分設計參數：

BOD₅ 體積：25~50 磅 BOD₅/天/1,000 立方呎

曝氣停留時間（以平均日流量計算）4~8 小時

MLSS：1,500~3,000 mg/l

F/M：0.25~0.5 磅 BOD₅/天/磅 MLSS

空氣需要量：標準狀況下 800~1,500 立方呎/去除一磅 BOD₅

污泥停留時間：5~10 天

程序之可靠性：

佳。

環境衝擊：

污泥處理，臭味，及能量消耗問題。

流程圖：



能量摘記：

曝氣槽之水頭損失可忽略不計。抽送迴流污泥及廢棄污泥之能量消耗是沈澱槽操作之一部分。

水質	進流水 (mg/l)	放流水 (mg/l)
BOD ₅ :	130	20
SS :	100	20

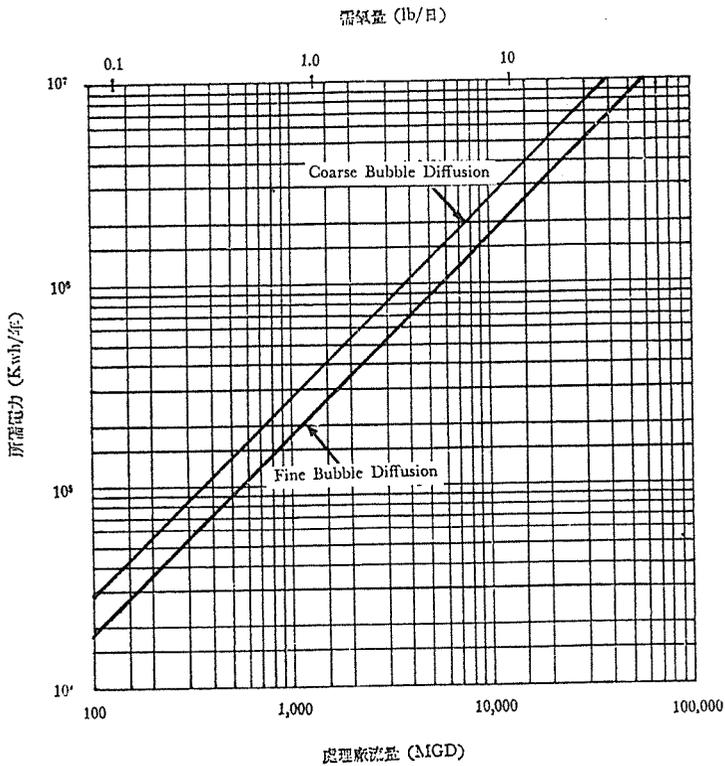
廢水之輸氧率 (oxygen transfer rate) 為：

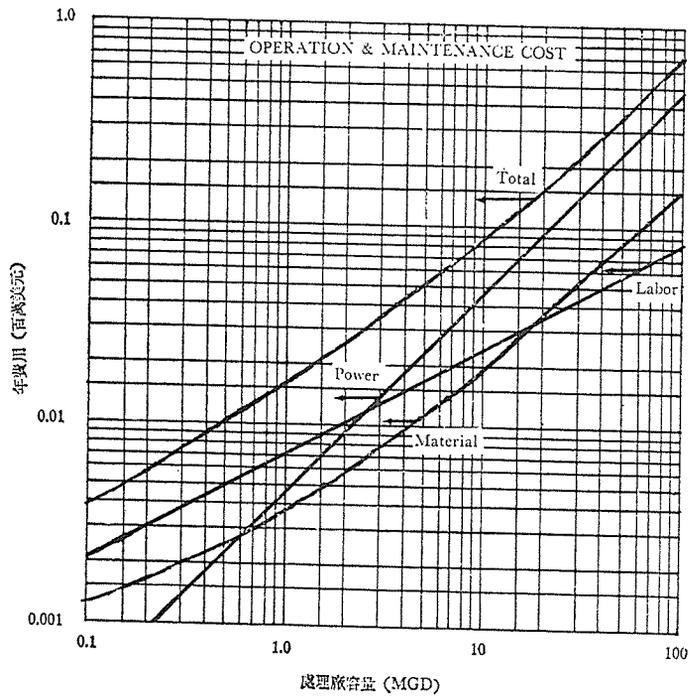
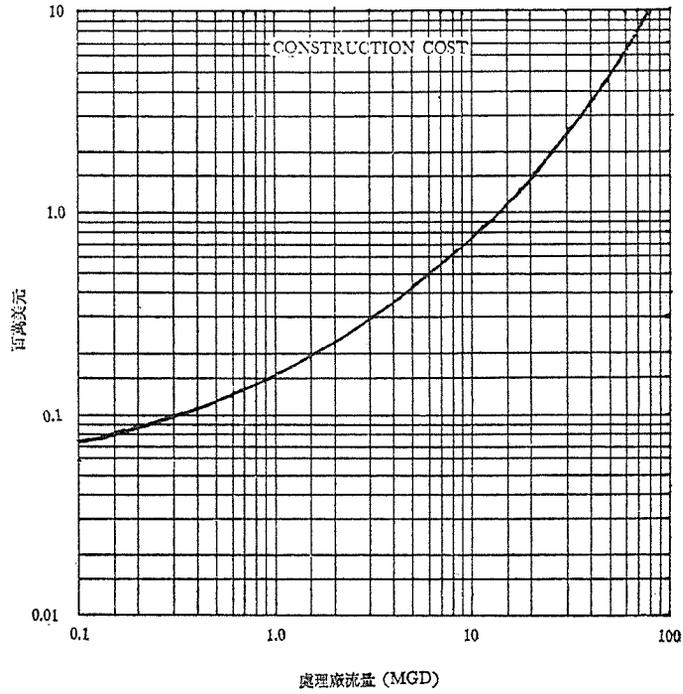
細氣泡擴散器 = 1.44 lb O₂/hph

粗氣泡擴散器 = 1.08 lb O₂/hph

費用：

服務年限 = 40年， ENR Index = 2475， 建造費用包括曝氣池 (aerated basin)。空氣供給及溶解設備、管線及送風機之建築物。沈澱槽及迴流抽水機並不包括在內。去除 1 lb 之 BOD₅ 需供給 1.1 lb 之 O₂， MLSS = 2000 mg/l， F/M = 0.25 lb BOD₅/lb MLSS， 停留時間 = 6 小時 (依據平均日流量)。容積負荷 = 32 lb BOD₅/天/1000 ft³





註：建造費，操作維護費係依1978年美國當地條件所估算者。

旋轉生物圓盤法在工業廢水處理之應用

歐陽嶠暉*

一、前言

旋轉生物圓盤法 (Rotating Biological Contactor) 簡稱 RBC 法，為生物處理的一種，由於其可在短時間接觸下獲得高處理效率，對負荷變動較具彈性，設計簡單、產生污泥量少，無活性污泥法之膨化 (bulking)、發泡 (foaming)、及滴濾法之散發臭氣、濾池阻塞等缺點，且噪音小，操作上不必如活性污泥法需迴流污泥、調節污泥濃度及曝氣槽之溶氧量等高度技術，所須動力亦較活性污泥法為少；因此，近年來歐、美、日本等國漸加重視，而積極開發為有機工業廢水及都市污水處理之用。

截至1980年6月30日資料，在美國已有441處理廠採用本法處理 3,213,329 m³/d 之廢水，其量之比率主要以家庭污水佔 90%，373廠。在歐洲至 1979 年底則已有 2,000 廠以上。而日本截至 1980年4月底，亦已有 1,028廠，處理 331,253 m³/d 之廢水，廠數及處理數量，生活排水及生產事業廢水各約佔一半。臺灣地區也已有數廠在操作中。RBC 法實用化至今約10年，而能有上述之發展，可見其受重視之一斑。

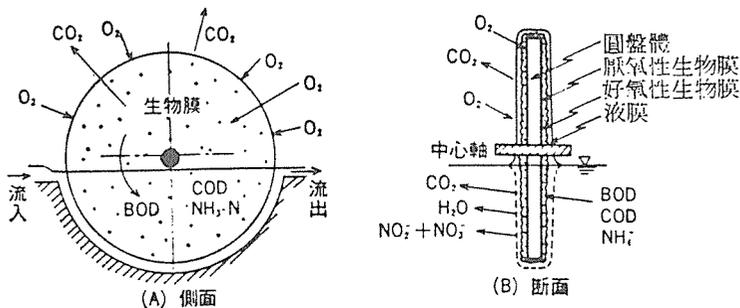
本文為針對 RBC 法在工業廢水處理上之應用加以探討，以供參考。

二、原理與特徵

2.1 原理

RBC 法為利用附着於圓板上之微生物羣以去除廢水中有機性污染物質的處理法。

RBC 法為將一連串的圓盤分成數段，其直徑之 40% 浸於接觸槽之水中，當緩慢旋轉圓盤與進流污水接觸後，經數日圓板表面開始產生附着微生物羣，這些微生物羣隨着圓盤的旋轉，自空氣中吸收氧及自水中吸收有機物進行好氧性分解。微生物之厚度通常為 0.5~2 mm，隨着接觸日數微生物膜漸厚，被覆蓋於底層的微生物羣呈厭氧性，當其失去活性時則由於圓盤旋轉的剪力，而使微生物羣 (污泥) 自圓盤表面脫落，併同溢流水接觸槽流出，而於沉澱池分離去除污泥。旋轉生物盤法之原理示如圖一。

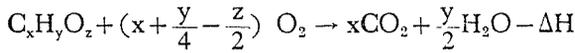


圖一 旋轉生物圓盤法之原理

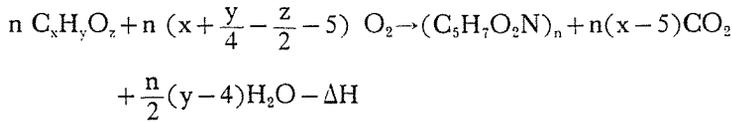
* 本小組委員
國立中央大學土木工程學研究所兼所長

RBC 法之好氧性微生物膜去除 BOD，可以 Eckenfelder 之式表之，微生物羣用空氣及水中之氧以分解廢水中之碳水化合物、脂肪、蛋白質等，成爲 CO_2 及 H_2O ，其反應式爲：

(1)有機物之氧化



(2)細胞之合成 (形成污泥)



(3)細胞質之氧化

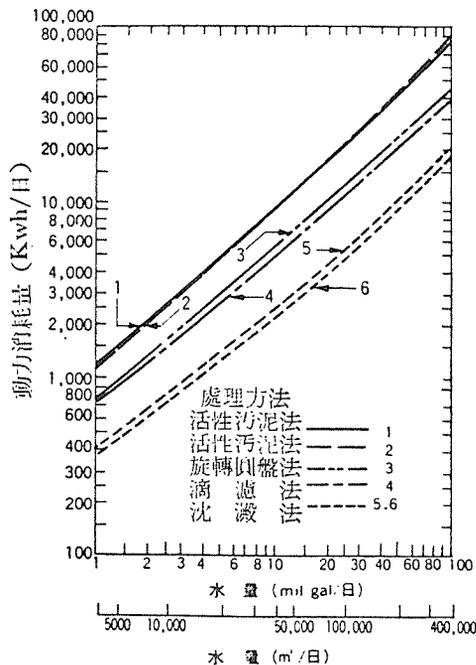


即廢水中的有機物一部份與微生物羣相接觸，依(1)式氧化形成 CO_2 及水等有機物，其他一部份依(2)式被微生物之細胞所利用，當廢水中有機物量少時，主要反應則爲微生物羣依(3)式自行分解獲得熱能。

2.2 特 徵

1. 動力費省

微生物羣所需氧量，爲當圓盤轉至空中時，由大氣中攝取之，即不需要於接觸反應槽內曝氣，且不需迴流污泥因之所需動力較省 (與標準活性污泥法相比較)。



圖二 廢水處理之動力比較

一般都市污水以本法處理，若入流水 BOD 200 mg/ℓ，則每去除單位 BOD 所需動力為 0.7 kwh/kg·BOD，標準活性污泥約為 2.4 kwh/kg·BOD。在二級處理負荷為 100 ℓ/m²·d，150 ℓ/m²·d，則其動力為標準活性污泥法的 1/2、1/3。而活性污泥法曝氣及迴流污泥所需電力為全廠的 40~60%，則 RBC 法可節省整體動力的 30~40%。圖二為美國 EPA 統計各種處理法之動力比較。

2. 操作管理容易，不需高度技術

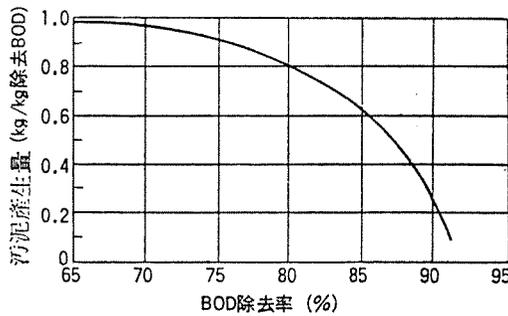
不若活性污泥法需調節曝氣槽之 MLSS 及送風量，也無發生膨化之問題，且無複雜的機械設備，僅每日觀察圓盤體及驅動部並定期加油即可。

3. 短時間接觸可獲高淨化率，對於負荷的變動，影響較少。

由於圓盤上附着的生物膜達 50~150 g/m²，換算為槽中的 MLVSS 相當於 20,000~50,000 mg/ℓ，因之 F/M 低是為可獲高淨化率之原因。再則後段之生物以原生動物、藻類、後生動物等微生物羣，種類多，對於負荷的變化，較具緩衝能力。

4. 污泥產生量少

由於係生物膜法，因之微生物的食物鏈環長，污泥產生量約僅為活性污泥法的二分之一左右。污泥產生量依原廢水的水溫、SS 濃度、圓盤旋轉數及 BOD 去除率而異，依據美國 EPA 都市污水 BOD 去除率與污泥產生率之關係示如圖三。



圖三 BOD 去除率與污泥產生量

5. 自高濃度至低濃度，可處理範圍廣

BOD 處理範圍可自 5~40,000 mg/ℓ 由於各段生物不相同，若 BOD 在 30 mg/ℓ 以下可達硝化，而可以全浸水圓盤進行脫氮。

6. 沒有發生污水蠅、惡臭、發泡、濾池阻塞及噪音等問題，

7. 用地面積與活性污泥法相同，若用地狹小可將平面多段式改為立體多段式配置。

8. 由於污泥產生量少，可直接以 Drum filter 分離污泥，而不需最終沉澱池，可使用地更為減少。

三、旋轉圓盤處理設施之設計

旋轉生物圓盤法之處理設備，主要包括接觸槽、旋轉圓盤體、中心軸、驅動馬達、減速機、鏈條及覆蓋物等。接觸槽有混凝土製及鐵板製。圓板之材質種類很多，一般使用者有發泡苯乙烯 (styrol)、聚氯乙烯 (polyvinyl chloride)、聚乙烯 (polyethylene)、耐用夾板質輕不腐敗物。目前各國使用之旋轉生物圓盤接觸體之規格比較如表 1。

由上表知道 RBC 法設備構造上，與設計有關的條件，包括液量面積比 (G 值)、圓板間隔、浸水率、材質、圓板形狀及覆蓋物等。

表 1 各國旋轉圓盤接觸體之規格 (代表性)

項 目	西 德	瑞 士	英 國	美 國	日 本
形 式	平 板	平 板	平 板	平 板	波 板
材 質	P S	P E	P E	P E	FRP. PE. PVC.
形 狀	發 泡 體	粗 糙 體	網 狀	平 板 / 波 板	平 板 / 波 板
圓 板 直 徑(m)	2~5	2~3.4	1~4.0	1.2~3.6	1.0~4.0
軸 長(m)	1.4~8.0	2.0~9.0	4.8~8.0	2.0~7.5	1.0~8.0
圓 板 間 隔(mm)	15~30	15~30	19	15~30	10~30
圓 板 厚 度(mm)	0.8~7.0	0.8~1.0	0.7	0.8~1.6	0.7~2.0
圓 板 面 積(m ² /軸)	300~10,000	630~5,880	300~7,200	750~14,840	350~8,800
液 量 面 積 比(l/m ²)	3.6~20.0	6.0~16.8	5.4~10.4	2.8~5.8	4.1~10.2
浸 水 率(%)	40	70	40	40	40
周 速(m/min)	≤18	≤18	≤18	≤18	≤18

3.1 圓 盤 材 質

圓板材質很多，主要為塑膠及硬質發泡體兩種，歐洲主要用發泡體圓盤，美國則多用聚乙烯板。發泡體因具浮力，可減輕中心軸的負荷，但由於增加無效體積，致增大用地面積。發泡體多用聚乙烯 (polyethylene)，板狀者則用 PVC 或聚乙烯。一般材質以具耐久性，能使生物膜易於附着者為佳。

3.2 圓 盤 表 面 形 狀

早期圓盤之形狀為平板者，其後為增加圓盤表面積，而創造出各種表面，尤其塑膠材料加工容易，而製造出各種形狀的圓盤。大致有兩種：(1)波浪形，原圓盤表面製造成波浪狀，約可比平板增加 1.2~1.3 倍之面積。(2)蜂巢型板，為美國 Autotrol 等所開發者，狀如蜂巢，面積約為同直徑平板的兩倍。

3.3 圓 盤 間 隔

RBC 法在處理過程中，隨着處理開始，其表面生物膜日漸增厚致間隔漸減少，甚至有發生閉塞現象，因之間隔以較寬者為宜。生物膜之厚薄，依 BOD 負荷及廢水種類及操作狀況而異。適宜間隔如表 2。

表 2 第一段 BOD 負荷與圓板間隔

BOD 負 荷 (第 1 段, g/m ² ·d)		間 隔 (mm)
一 般 碳 水 化 合 物		
45	45	15
45~70	15~20	20
70以下	20	25

3.4 圓 板 直 徑

如表 1 所示，一般圓板直徑為 2.0~3.6m，最大為 5.0m。直徑愈大則圓板面積愈大，接觸槽所佔的面積越小。若以直徑較小的模型廠實驗結果應用於大直徑之圓盤時，以 0.5m 直徑之值應用於 2.0m 直徑時須增面積 15%，2.0m 應用為 3.5m 直徑時，須增 10% 的面積，為歷經實際操作所獲致之結論。

3.5 浸 水 率

圓板浸水率大都採 40~70%，惟一般多採 40%。

3.6 液 量 面 積 比 (G 值)

液量面積比為接觸槽實容積與圓盤面積之比 ($\frac{V}{A} \times 10^3$)。槽之容積應為接觸槽容積減去圓盤浸水部份之容積。

依據 Antonie 實驗，一般廢水處理 G 值在 5 l/m² 以上處理效率之影響很小，但若廢水濃度較低或存在有微生物不易處理之物質，則必須增加其接觸時間，而採用較大 G 值。

水量面積負荷，有機物濃度面積負荷及停留時間，相互間之關係，可由下式表之：

$$B.L (g/m^2 \cdot d) = \frac{Q \times C_{in}}{A} = C_{in} \times H.L$$

$$H.L (l/m^2 \cdot d) = \frac{Q}{A} \times 1000 = \frac{G}{\theta_a} \times 24$$

$$\theta_a = \frac{V}{Q} \times 24 = \frac{G}{H.L} \times 24$$

式中

C_{in} : 進流水 BOD 濃度 (mg/l)

V : 接觸槽實容積 (m³)

Q : 進水流量 (m³/d)

A : 圓盤總表面積 (m²)

B.L : 進流水 BOD 之圓盤面積負荷 (g/m²·d)

H.L : 進流水水量之圓盤面積負荷 (l/m²·d)

θ_a : 進流水停留時間或接觸時間 (hrs)

在這些指標中，於設計時應以何者為先決條件似無一定的規律，而實際上互有密切的關係。

3.7 段 數

RBC 法與其他生物處理法最大的不同點為本法幾乎為推進式之水流，也即不需迴流污泥。並可視需要調節段數，段數之增加有下述諸優點：

- (1)第 1 段由於進流水 BOD 濃度高，生物膜生長迅速，致 MLSS 濃度非常高，對於流量、濃度之負荷變化較易適應。
- (2)多段處理，各段可生長適當之微生物。
- (3)依據操作經驗，多段槽較單槽處理效率高。
- (4)多段處理由於食物鏈環作用，可減少污泥之產生量。

一般在處理上多採用 4 段並聯或串聯，段數以多者為宜，但若過多反而增加第 1 段之負荷，由於溶氧供給不足致散發臭氣，但此點可以增加第 1 段之面積或增加旋轉速度以提高溶氧供給能力，或於第 1 段注入純氧改善之。

3.8 攪 拌

旋轉生物圓盤之旋轉，對溶氧移動及槽內水流之影響很大，槽內的水流狀況對於廢水的混合、污泥的沉降及 BOD 的去除也有很大的影響。依據神山、加藤之研究，圓盤與槽底之間隔 (a) 及圓盤直徑 (d) 之關係，以 $a/d=0.055$ 為宜。

3.9 廢水流入與軸旋轉方向

廢水之流入方法有三種，即(1)與軸成垂直流入，而與旋轉方向同流向，(2)與軸成垂直流入，而與旋轉方向逆流向，(3)與軸同方向流入者。一般(1)及(2)中以(1)為宜，因逆流向者易與表層下之水流成短路流。水流之流入以多點或均勻為宜。

3.10 圓 盤 覆 蓋

為防止圓盤設備遭受風、雨吹打、日光曝曬，應附有覆蓋物或設置於建築物內。覆蓋物之材質一般用 FRP 等材料，以具耐蝕、耐荷重而不透明易於組立、拆除及通風者，尤其通風具有防臭效果，為通風需要，覆蓋面積上應有 0.01% 以上之開孔。

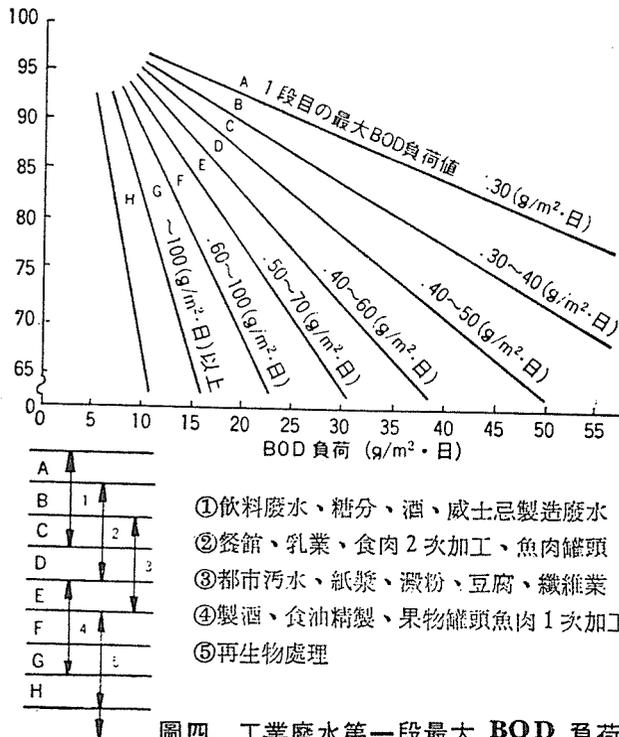
四、工業廢水處理上之應用

根據文獻，在美國有 68 個處理設施，日本有 581 個處理設施採用旋轉生物圓盤法處理工業廢水。

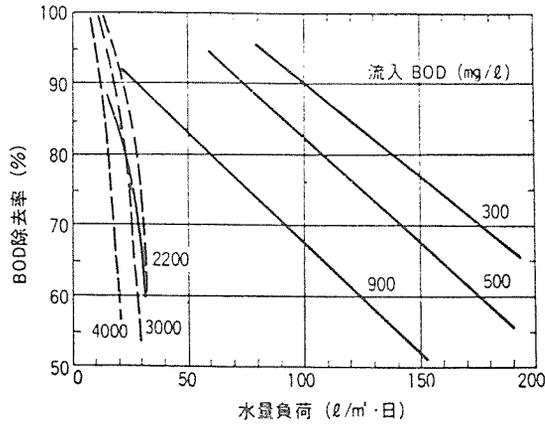
工業廢水之種類極多，廢水之 BOD 濃自 100~6,000 mg/l，根據日本操作中之處理設施，按其廢水種類設計之 BOD 面積負荷示如表 3，將該表歸納為 5 類廢水，其第 1 段之最大 BOD 面積負荷及 BOD 去除率之關係示如圖四。在一般處理上，若原水濃度高，可於第 2 段或第 3 段之後設置中間沉澱池可提高效率。圖五為美國乳業廢水處理例，圖六為紙漿，造紙工業廢水之操作例，圖七為各種廢水之 BOD 面積負荷及去除率之關係，原水水質之不同，其負荷及去除率亦異。表 4 為歐洲高濃度廢水以旋轉圓盤處理工廠廢水之數值。表中 BOD 10,000~40,000 mg/l 者為以純氧之旋轉圓盤處理者，依據歐洲之經驗報告，高濃度有機廢水被認為以純氧旋轉圓盤處理為最適宜的方法。

表 3 各種工業廢水之圓盤設計面積負荷值

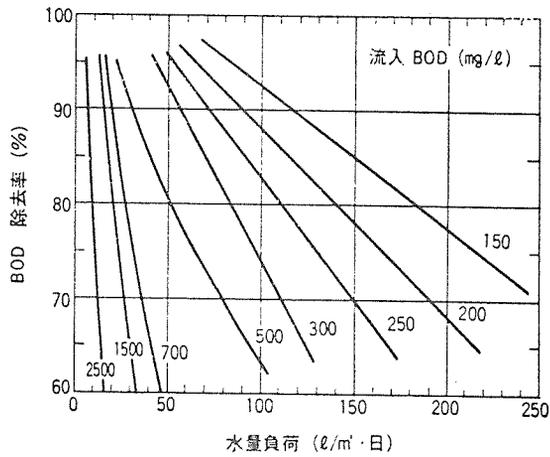
號碼	廢水名	原水 BOD (mg/ℓ)	BOD 面積負荷 (g/m ² ·日)	號碼	廢水名	原水 BOD (mg/ℓ)	BOD 面積負荷 (g/m ² ·日)
1	水產加工	400~1,000	30~90	19	紙漿	100~2,300	6~80
2	魚肉加工	150~444	25~60	20	精練漂白	800~1,000	50~65
3	魚市場	100~600	15~20	21	廢紙再生	300~800	10~20
4	食肉加工	100~1,500	10~20	22	抄紙白水	50~100	10~15
5	食鳥加工	300~500	15~20	23	石油廢水	100~800	5~80
6	味噌醬油製造	150~600	5~25	24	洗衣	85~140	8~10
7	食用油製造	400~600	20~25	25	乾洗	300~500	10~20
8	醬菜	500~1,500	30~50	26	製藥	600~1,000	5~25
9	釀酒	700~2,000	15~20	27	醫院	120~450	10~15
10	乳業	300~4,000	30~60	28	屠宰場	750~2,500	8~10
11	果實罐頭	1,000~1,600	20~60	29	養豬場	200~250	5~20
12	蜜柑罐頭	200~1,400	30~40	30	養豬場	500~800	25~30
13	芋頭罐頭	100~200	15~25	31	養豬場	1,000~1,300	25~50
14	餐館	200~500	10~30	32	稀釋水肥	2,000	5~30
15	蠶糸	1,400~6,000	10~20	33	化糞池	100~200	5~7
16	染色	120~200	20~40	34	併化糞池處理	70~230	5~7
17	塗裝	70~140	4~6	35	焚化(垃圾)場	300~1,000	10~20
18	羊毛	150~200	20~25	36	垃圾掩埋	10~200	1~20



圖四 工業廢水第一段最大 BOD 負荷及 BOD 去除率之關係



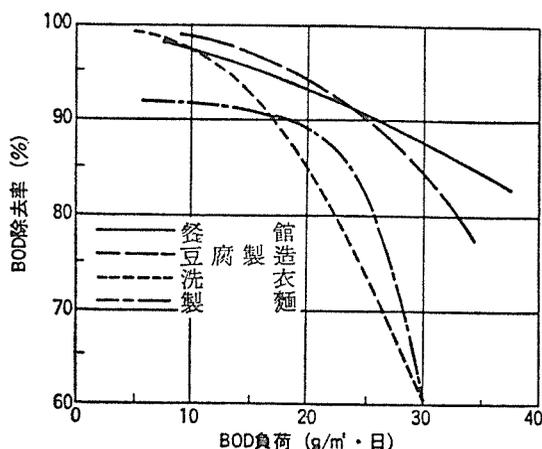
圖五 乳業工業廢水



圖六 紙漿、製紙廢水

表 4 高濃度工業廢水之處理數值表

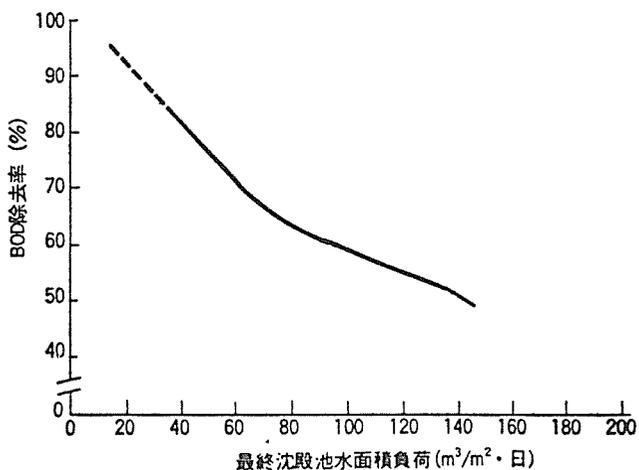
廢水種類	設置位置	處理流量 (m ³ /d)	流入水水質 BOD (mg/l)	處理水 BOD (mg/l)	BOD面積 負荷 (g/m ² ·d)	圓盤體 (φ3.0m) 表面積(m ²)
製酪罐頭	西德	200	210~40,000 (平均 2,500)	12~45	20~25	6段1列 (3,000×6)
酵母、酒精	英國	2,000	4,500~10,000	100~250	25	3段6列 (2,800×18)
製酒	西德	50	1,000~10,000	6~440	純氧圓盤法	
橄欖油	義大利	400	2,500~3,500 (NH ₃ -N. 1,000~1,500)	650~850	150	4段1列 (2,700×4)
	義大利	500	40,000			純氧圓盤法



圖七 各種廢水 BOD 負荷及去除率

旋轉圓盤體接觸槽流出水之 MLSS，較活性污泥法曝氣槽之流出水為低，圓盤槽流入 BOD 200~300 mg/l 時，最終沉澱池流入之 MLSS 為 100 mg/l 左右。根據實際操作，旋轉圓盤法最終沉澱池之水面積負荷與 BOD 去除率之關係示如圖八。

至於污泥處理，與其他生物處理法相同，需要有濃縮槽及脫水設備，但由於本法所產生之污泥量少，因之所需之設備可較少。



圖八 旋轉圓盤法之最終沉澱池水面積負荷

五、結 語

本文僅就一般旋轉圓盤法在工業廢水二級處理上之應用，加以扼要介紹，提供工業界及水處理公司於檢討處理工業廢水時之參考為目的，匆促執筆，若有疏漏之處敬請指正。

參 考 文 獻

1. 歐陽嶠暉：旋轉圓板法污泥特性。博士學位論文。
2. 楠木正康、岩井重久：生物膜法。產業用水調查會。
3. 回轉圓板技術研究會：回轉圓板法污水處理技術。山海堂
4. U.S.E.P.A. and University of Pittsburg : Proceeding of First National Symposium on Rotating Biological Contactor Technology. Feb. 1980.

臺灣地區廢水處理使用旋轉生物盤法之趨勢

林 傳 銓*

一、前 言

臺灣地區自民國52年有污水處理廠以來，無論是都市污水或工業區綜合廢水處理廠，處理程序都以生物處理為主，其中又以懸浮生物羣之活性污泥法佔大多數。但是近兩三年來由於電價大幅度上漲，再加上臺灣機械工業生產能力尚低，鼓風機、曝氣設備等均因其複雜構造而無法全部自製，產品品質亦控制不良，因而使用時耗電量頗驚人，因此生物處理中，應以採用低動力者為佳。

旋轉生物盤法由於具有操作容易，節省能源，少用人力與保養費低廉等優點，在國內已有逐漸被人採用為處理有機性社區或工業廢水之趨勢。

二、國內旋轉生物盤法之發展與回顧

我國自民國64年開始，已有黃世佑和周基樹兩位教授進行亞硫酸法紙漿廢水及合成社區廢水，利用本法來處理二級處理廠之研究，其後臺大環工研究所於民國66年又有利用旋轉生物盤法處理糞便污水之研究，另外南部成功大學土木系環工研究所高肇藩及李俊德兩位教授自民國65年開始也分別多次研究利用本法處理酵母廢水，蘇打法紙漿廢水及屠宰廢水之可行性。中央大學土木系主任歐陽嶠暉教授從事於此法處理都市污水之研究最久，自民國65年開始一直埋首於社區污水採用此法之處理研究及其產生污泥性質之探討，成效頗佳。

臺灣地區實際應用此法之廢水處理設施，先後已有處理皮革廢水，牛奶廢水，染整廢水以及電鍍底漆廢水等，共計6處，但是操作完全成功者，僅裕隆汽車公司電鍍底漆廢水處理廠達到設計處理效果。其他廠失敗之原因，不外是設計錯誤，廢水性質估計不正確以及操作管理上的缺失。近年來因國內旋轉生物盤法處理工業廢水方面，研究風氣頗盛，並常有歐美日專家及歸國學人在工業界介紹推廣此法，近又有海外歸國學人專家斥資設立專門製造旋轉生物盤之工廠；因而採用此法處理污水之設施，最近（去年）又增加了兩處，分別為遠東紡織公司染整廢水處理設備以及臺糖埔里加工廠之豬糞尿廢水處理設施，現均已完工，積極試運轉及保持正常操作中，詳所附相片兩張及施工中照片壹張。

三、工業區廢水處理廠採用本法之展望

臺灣地區的水污染防治，自始即將重點放在工業廢水防治上，政府普遍開闢專業性及綜合性工業區，在區內大部份都設置了綜合廢水處理廠，至目前為止共有十一處工業區之污水處理廠已

* 中華顧問工程司水環部正工程師

經操作營運多年，而正施工中之工業區污水處理廠亦有八、九處之多，以上總共約廿處。工業區污水處理廠中除了內壠及龜山工業區還用滴濾池法操作外，其餘污水處理廠幾乎全以活性污泥法設計或操作。滴濾池法在十九年前開始被國內設計工程師採用設計，然而操作以來其操作效率一直無法獲得滿意之預期效果，滴濾法設計之污水處理廠不是遭致改建為活性污泥法就是其分水器不能旋轉而遭閒置不用。以上現象可知，一種新被引用的方法，在開始採用時最重要的除了必需於規劃時，詳細分析污水性質及謹慎研究比較各種不同方案之優劣外，設計時必需嚴格挑選設備規格，施工時更需確實監督，才不會像原是很好的滴濾生物處理法，因開始案例之失敗，導致現在仍無人敢再貿然採用此法。

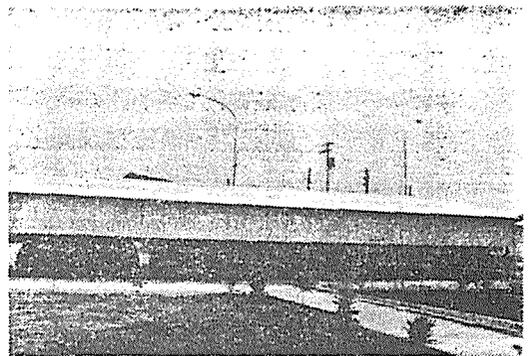
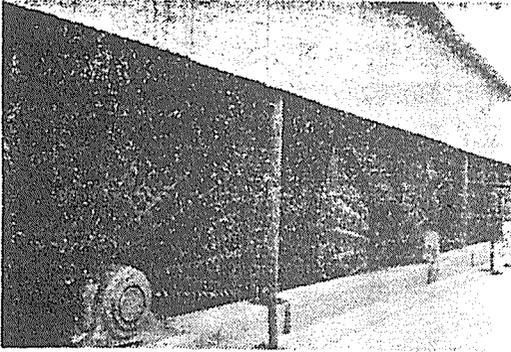
目前規劃設計中之工業區污水處理廠有十處之多，旋轉生物盤法似已開始臻於實用化，所以上述十個工業區污水處理廠中，決定採用本法者共六處之多；但是，真正已設計完成者僅有嘉太及民雄兩個工業區之污水處理廠，後者因經費關係可能延期發包施工，而前者可望71年初開始施工，同年年底開始運轉。筆者祈望該工業區能有個好的開始，能够審慎施工，以便將來操作時能够一切正常，俾免生物盤法又開始即失敗而遭到與滴濾池法相同之惡運。關於國內工業區污水處理廠之概況請詳表一及二。

表一、臺灣地區已操作之污水處理廠

工業區名稱	廢水處理方法	地點	改善情況及發生問題
六堵工業區	滴濾池法	基隆市	正改建為活性污泥法
土城工業區	活性污泥法	土城鄉	進流量比設計量少許多
大武崙工業區	同上	基隆市	正操作中，採用污泥離心機
中壢工業區	同上	中壢市	目前僅建至調節池，當曝氣塘用
內壢工業區	滴濾池法	內壢	計畫與中壢污水廠合併
平鎮工業區	化學及活性污泥法	平鎮鄉	實際污水水質甚大於設計值
湖口工業區	活性污泥法	湖口鄉	採用機械曝氣法
龜山工業區	滴濾與活性污泥併用	桃園市	進流量低估，水力超負荷，正擬改善計畫
南崗工業區	氧化深渠法	南投鎮	操作尚未正常，調整中
安平工業區	活性污泥法	臺南市	進流量太少，設計值高估
大社工業區	活性污泥法	大社鄉	石化工業廢水不宜用生物處理法

表二、設計完成施工中之污水處理廠

工業區名稱	採用處理方法	廢水性質	預估完成日期
臨海工業區	初級處理海洋放流	綜合工業	正試車中
大發工業區	與上面工業區合併處理	綜合工業	同上
三義工業區	氧化深渠法	汽車工業	70年底完工
仁武工業區	海洋放流	綜合工業	同上
臺中工業區	氧化深渠法	綜合工業	71年底完工
臺中幼獅工業區	同上	綜合工業	71年6月完工
官用工業區	活性污泥法	同上	發包中
龍德工業區	同上	同上	設計中
芳苑工業區	活性污泥法	社區污水與綜合廢水	發包中



臺糖公司埋里加工廠旋轉生物盤處理廠



遠東紡織公司旋轉生物盤設備安裝中

四、旋轉生物盤法之原理與其特徵

本法係利用一系列間隔甚近之塑膠製圓盤裝於同一旋軸上，其直徑之40~60%浸於污水槽內，整組旋轉圓盤，轉速緩慢，旋轉之時，同時進流污水。於開始操作後之數日內，微生物群開始繁殖並附着在圓盤表面，這些微生物羣隨着圓盤之旋轉，自污水中攝取有機物，並自空氣中吸收氧而進行好氧性生物分解。如此圓盤上的生物膜厚度隨着接觸時間之增加而漸增其厚度，當生物膜厚度超過溶氧所能滲入之深度時，其接近盤表面處會呈厭氧狀態，而減弱其生物膜與圓盤面間之吸附力，再利用圓盤旋轉時所生之剪力，微生物膜即賴重力脫落於槽中；經脫落之生物膜隨溢流水流入終沉池，於池內沉澱而與處理水之分離。旋轉生物盤法和滴濾池法（同為固定膜生物處理法）相比較，前者每一單位體積內含有較高之微生物量，故具處理有機性廢水之可靠性及放流水水質之穩定性，而且對進流水之水質、水量負荷突變時之適應能力均較其他固定膜生物處理法為佳。

茲將生物盤法之主要特徵歸納如下：

- (一)旋轉生物盤法，其槽內之停留時間較活性污泥法中曝氣槽為短，因而生物膜之更新較速，故對有機負荷突變及有毒性物質之適應力較強。
- (二)工業區之廢水量及水質變化因時間而變，本法可採用分段處理方式，各階段之處理機能，

可依水質、水量之變化而作彈性調整，操作管理較易。

- (三)廢水進流方式為純塞流 (PLUG FLOW)，且不須有迴流污泥，故操作人員不須具有高深之理論基礎與技術要求即能勝任。
- (四)串聯處理之各階段生物盤面上，因水質處理變化而會產生不同之生物相，尤以後段之硝化作用為一般活性污泥法所無，三級處理所需之脫氮作用亦可在較低之增加處理費用內達成，有助於在擴建為三級處理時，大為減低承受水域之優養現象。
- (五)旋轉生物盤，因不斷曝露在空氣中，氧氣迅速溶解水中，擴散快，萬一有臭氣發生時，通風亦佳，可防止污水蠅及臭味發生（此點為滴濾池法所不及者）。
- (六)脫落之生物膜，由於顆粒大，其在沉澱池中之沉降性佳，且由於污泥中之固體含量高，所以污泥濃縮池可酌量減少或全免，最後沉澱池之需要面積亦較小。
- (七)操作情況佳，則處理後水質甚佳，並足可使將來需擴充為三級處理時，減低所增加之設備費用及三級處理之操作費用。
- (八)操作時之噪音及水霧遠較活性污泥法為小。
- (九)本法受低溫度之影響狀況，在進流水水溫 $4 \sim 20^{\circ}\text{C}$ 間時，其處理效果並不受顯著的影響，（滴濾池法在上述溫度範圍內，受到之影響較大）。
- (十)國外已發展本法，像使用空氣驅動法，純氧旋轉生物盤法以及與活性污泥併用等，皆有相當的進展，有利於使用本法來處理較高濃度之有機廢水的可行性。

五、推廣採用旋轉生物盤法可能發生不利因素

他山之石，可以攻錯，當旋轉生物盤法，漸被廣用於臺灣地區之工業區污水處理廠之際，國外曾發生過因操作上之缺失而致影響其效率，所以本文中將其提出，作為借鏡，以免國內業者、設計工程師以及操作人員，採用此法時再重蹈覆轍。美國採用旋轉生物盤法之污水處理廠，最早的尚不及十年，而其中發生毛病之污水處理廠多半因機械方面的問題，諸如盤面結構與旋轉中心軸間之組合接連，整體性往往不太理想而常發生鬆脫現象；如軸裂斷，旋轉不均順或盤面鬆緊之問題，面與軸之間固定也因而常須重新加以固定及調整；再者，驅動設備中潤滑油滲漏易發生油污染問題等等。這都是屬於機械製造與設計上之問題。國外盤面所用材料皆選輕質塑膠，如此可使支撐減少又可自立，最近常用之材料為各種聚乙烯塑膠 (PE) 以及聚苯乙烯塑膠 (PS) 兩種較多。

本法素以節省能源與操作維護費用低廉著稱，並有逐漸取代活性污泥法之趨勢。可惜因實際用在污水處理廠之歷史太短，而其設計方法及操作管理方法尚不統一，又在理論上與技術上尚需待探討與澄清之處仍很多，因而限制了本法廣泛而實際應用之速率，此其一。本法之進流水，若在沉砂及初級處理不佳時，生物盤槽內會沉積甚多懸浮性固體，而使其處理效率大受影響，且會因而發生臭味，此其二。因此操作人員應切記，當流入之污水有機物大部分為可溶性生物化學需氧量時，才是正常；否則旋轉生物盤槽內之累積污泥需定時以污泥抽水機抽放至濃縮池。通常當生物盤面發生白色生物膜時，即是槽內之污水呈厭氣現象，此時需測定槽內池水中是否含有太高之硫化氫，而加以防治避免。工業區採用旋轉生物盤法時，必需設置調節緩衝池以調節中和變化水質並使進入生物盤槽之流量保持一定，但調整池所需土地面積常很大，而致使設計工程師在選

擇程序時，會較喜歡不必初沉池與調節池之氧化深渠法，而放棄使用旋轉生物盤法，此其三。惟氧化深渠法之耗電量約為旋轉生物盤法之二倍多，而且其需土地之總面積又多於旋轉生物盤法（氧化深渠法，亦屬於活性污泥法之一種）。

在臺灣地區採用氧化深渠之污水處理廠，其歷史亦與旋轉生物盤法相當，皆在啓蒙階段，但是前法在國外操作實例都比旋轉生物盤法者多且早，這是國內工業區污水處理廠不能普通採用旋轉生物盤法最不利因素之一，而第二不利因素是旋轉中心軸與圓板材間之結合方法，驅動設備等機械技術上根本問題。

綜合上述分析國內之旋轉生物盤製造廠商尚須努力研究發展，在其產品上作最快而顯著之突破與昇級；則當國產旋轉生物盤顯示出其組合，應用於有機物工業廢水處理時，不會發生類似前面提到之機械上缺失，則旋轉生物盤法即可開好真正地大量取代目前常用而耗費能源之活性污泥法。

塑膠濾料滴濾池設計考慮因素

潘 丁 白*

一、前 言

國內目前工業區及大型之處理廠，一般皆以標準活性污泥法為第二階段生物處理方法，其實標準活性污泥法佔地最廣，材料及工程費用皆大，在臺灣地小人稠的地方並不經濟，鑑於目前廢水處理方面人才濟濟，理該不再墨守成規，而需進一步採用及使用比較新式的生物處理方法。

筆者曾在美國顧問公司設計新澤西州第二區廢水處理，(1)其地點接近紐約市區，隔哈德遜河相望紐約市，正是如同臺灣一樣地小人稠的地方，廢水是由工業廢水與家庭污水合併處理，經過比較各種活性污泥法，旋轉生物盤法及塑膠濾料滴濾法的經濟效益，初步決定以 38 呎高 107.5 呎直徑的三座塑膠濾料滴濾池來處理年平均 24.43 MGD 之綜合廢水（三個地區），可除去廢水中 BOD 92% 及 SS 90%，放流水為 15 ppm 左右之 BOD 及 SS，達到美國政府之放流水標準(2)，是故借此機會，提供塑膠濾料滴濾池設計考慮因素，以拋磚引玉的方式，提供參考。

二、廢水性質之分析及處理所需之條件

(一) 生物處理法所需之條件：

不論是喜氣菌或厭氣菌來處理廢水的生物處理法都需要符合下列之條件，若不能符合，則需增加設備及方法以達到下列條件。

1. 連續流；若非連續流，水中之生物將不能生長。只有物理化學法才可處理非連續流，生物處理法，一定要連續流之水流。
2. 無毒性物質存在：酚、氰及各種重金屬等為毒性物質，若廢水中含有毒性物質，將使生物死亡。
3. 合理之 pH 值：最好之 pH 值為 7.0，一般為 6.0~8.0，最少需要 5.0~9.0，雖然一些微生物如黴菌 (fungi) 可在 pH 3-4 之間生存着，但不足以處理綜合廢水，只適合處理咖啡工業等特殊廢水。
4. 廢水中應有適當之養份，微生物生長最適當之養份比為 $BOD_5 : N : P = 100 : 5 : 1$ ，除了氮 (N) 及磷 (P) 外之其他 28 種養份，微生物所需甚少，而在一般情況下，都足夠了，一般不予考慮，當發生問題後再逐步分析。
5. 高成份之有機物(3)：一般以生物處理法處理廢水需測出① $BOD_u/COD \geq 0.7$ ， BOD_u/COD 代表可被生物分解之廢物，即可以生物處理法處理之廢物② $TDS/TS \geq 0.7$ TDS/TS 代表有機物部份，關於無機物部份將以初步處理及二級處理時之最終沈澱池處理。
6. 需要初步處理及二級處理時之最終沈澱池，其目的為使無機部份及可沈澱部份去除掉，經過實驗模型廠實驗結果知，在塑膠濾料滴濾池之初步處理以旋轉細篩過程效果為佳（不用

* 行政院經建會技正

一般初步沈澱池)其原因為(4)：

- (1)旋轉細篩過程可去除所有大於 0.02 英寸直徑之固體，又沈澱之固體可由最終沈澱池去除。
- (2)溶解之固體物，油質及脂肪可經旋轉細篩過程去除，而塑膠濾料滴濾池及最初沈澱池皆不能去除這些物質。
- (3)雖然細篩過程處理污泥較困難，但在實驗處理廠中，其乾重污泥有16%，而初步沈澱池只有 3%至 5%之乾重污泥，而百分比愈高之乾重污泥，當處理污泥時愈便宜。
- (4)比較操作維護費用，則細篩過程比初步沈澱池沈砂池棒條篩狀池等皆便宜。
- (5)遇高固體負荷時，可經過增加輪軸速率予以調整。
- (6)停留時間，只有 2 分鐘，而初步沈澱池一般需幾小時。
- (7)面積需要小，可建於室內。

(二) 生物處理綜合廢水或工業廢水之事前分析：

1. 調查廢水來源及狀況：
 - (1)廢水來源及量之比較。
 - (2)是否穩定狀態，連續流或非連續流。
 - (3)一般水文及人文背景資料。
2. 分析廢水項目：pH, TS, TDS, TVS, TVDS, 各日之 BOD 及衰退常數 K 值，COD，有毒物質及營養物質。
3. 目前法令管制標準及未來法令預估，以便配合。
4. 經濟評估及技術之可行性整理。

三、塑膠濾料滴濾池之理論及設計

雖然在50年代中期時，並不瞭解塑膠濾料滴濾池之理論，但就已經開始使用了(5)，所以效果不佳，目前塑膠濾料滴濾池可允許應用於高有機物及水量負荷，因為高的空間（90~98%）比一般濾料高出許多，所以不需要使用人工之通風系統(6)，塑膠濾料之有效表面處理面積比乾濾料面積，即 A_{eff}/A ，比其他包括卵石在內之濾料為高。

主要之優點已經在1967年由 Askew (7)及後來許多學者(8)描述過，其中值得提的，為可減少50~80%之經費及可建性高，使佔地面積減少許多，最先濾池之高度可從6呎到30呎之間，最近可設計到50呎以上(5)。目前所有美國之工廠濾料都以PVC為最佳，因為它的強度及穩定性都高。

到目前為止，發表關於塑膠濾料滴濾池之理論非常多，但實際可應用之公式只有二種(9)如下

(一) Ecken felder's 公式(10)

$$\frac{L_c}{L_0} = \frac{e^{-KD/Q^n}}{(1+N) - N e^{-KD/Q^n}}$$

(二) Schulze's 公式(11)

$$\frac{L_c}{L_o} = e^{\theta t - 20^\circ C} K_{20^\circ C} D/Q^n$$

(三) German's 公式(12)

$$\frac{L_c}{L_o} = e^{-KD/Q^{0.5}}$$

其中：L_c：放流水 BOD
 L_o：進流水 BOD
 K：BOD 去除常數
 N：迴流比率
 n：塑膠濾料性質常數
 D：濾料深度

其他如 NRC (13)及 Galler 和 Goffuas (14)等皆不能使用塑膠濾料滴濾池設計，雖然一些設計者也使用其他公式，但不能用於特殊之廢水及狹義之參考係數(6)，而前面三個公式中，Eckenfeldor's 公式考慮迴流之情況，實際經由 German 的實驗證明，迴流並無特別影響，又 Schulze's 公式中之 n 值經 German 發現由家庭廢水及塑膠濾料成份為 27 平方呎表面積／每一立方呎空間時為 0.5，此為特殊值，不同之情況則需實驗求出，所以 Schulze's 公式為最好之完整公式，而此公式為當初本人服務之公司所採用。

設計塑膠濾料之過程為先分析所使用之公式，建立實驗模型廠及細部設計分別分析如下

(一) Schulze's 公式之討論分析：

1. 此公式並不包括迴流，然而 German 發現迴流並無特殊影響有機物之去除，又經筆者曾服務之公司比較，迴流效果比不迴流處理效果差而不予考慮(15)。
2. n 值為濾料之型態及生物表面積影響係數，需由實驗求出。
3. 水力負荷，Q 值，一般塑膠濾料滴濾池之水力負荷為 0.5 到 3.0 gpm/ft² (4)，正確之設計水力負荷還得需要經過模型工廠求出。
4. 濾料深度，通常經由去除率對高度座標由實驗方法求出有效高度(6)。
5. L_c 為放流之 BOD₅，使符合二級處理廠放流標準，美國為 30 ppm。
6. L_o 為進流之 BOD₅，係以尖峯月流量設計，一般來說，塑膠濾料滴濾池之有機負荷不允許每天變化率超過 10(16)，而混合活性污泥法為 3 (17)，所以活性污泥法常需要平衡池來調整，而塑膠濾料滴濾池，則不常需要平衡池來調整。
7. K 為廢水性質之係數，German 報告綜合濾料處理家庭污水為 0.088，高之 K 值代表容易處理有機物，低之 K 值代表難以處理有機物，K 值之決定係以過去之經驗或以實驗方法求出。
8. 溫度影響：一般 θ 值為 1.018，但實際上溫度影響濾池很大(18)正確值還是要以實驗方法求出。

(二) 實驗模型廠：

1. 收集資料以尋求 BOD 去除率，深度及水力負荷，最少需要三組水力負荷以做實驗。

2. 如圖(1)，以不同之水力負荷求出 BOD 存留量百分比與深度之關係。

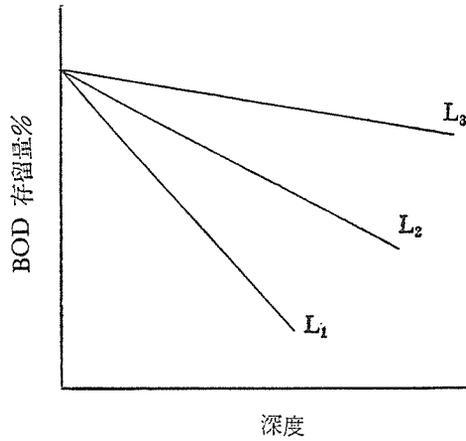


圖 一

3. 求出圖(1)之斜率 L_1, L_2, L_3 。

4. 如圖(2)以對數 Q 與斜率 L_1, L_2, L_3 等之關係，求出之斜率為 n 值。

5. 如圖(3)對 D/Q^n 對 BOD 存留量求斜率為 K 值。

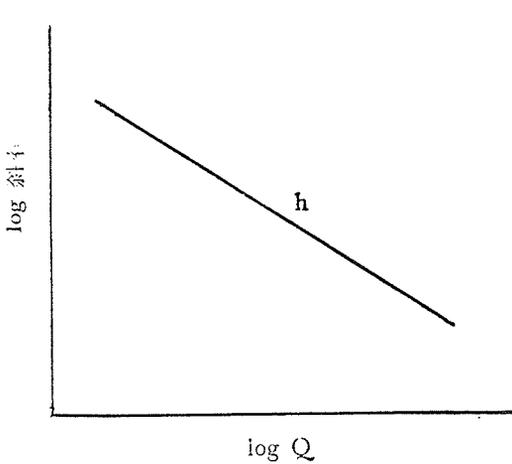


圖 二

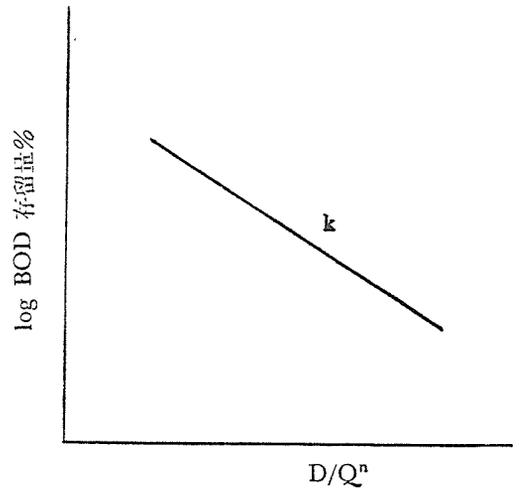


圖 三

6. 設計之公式如下

$$\text{BOD 去除率百分比} = 1 - e^{-K\theta D/Q^n}$$

7. 選擇適當之深度及 BOD 去除率以決定水力負荷 Q 。

8. 以水力負荷及全部水流體積求出濾料面積。

(三) 設計細部考慮：

1. 多段式濾池：多段式濾池比一段式濾池效果好(19)，當處理超過 600 ppm 之 BOD₅ 及大量之固體或相當難以生物分解及偶爾激增之負荷 (Strong Shock Loads)，需多段式濾池。
2. 排水、支持物、廢水分配器及外牆等細節設計。

四、結 論

本次報告為一般性設計原則及考慮因素，前面各章之數據及因素皆為實驗及參考各種有關研究報告摘出之結果，設計處理廠考慮之因素及實際建廠之細步過程非常複雜，但在決定一種新方法前，要有全盤之考慮，如經濟、人文等之配合，希望本篇報告能提供國內學術界及設計單位參考採納，並加強有關塑膠濾料滴池之研究，設計與應用。

參 考 資 料

1. *HCUA 201 Wastewater Facilities Plan, Planning Area III Facilities Report*, 1980.
2. *Process Design Manual for upgrading Existing Wastewater Treatment*, USEPA, Oct. 1974.
3. Information From Elson T. Killam Associates Inc., N. J., 1979.
4. *Analysis of Clinton Bogart Associates Comments on North Hudson Regional Council of Mayors Preliminary Report*, 1980.
5. J. G. Richard and R. P. Kingsbury, "Design Considerations for Plastic Media Biological Towers" Environmental Control Division, Ethyl Corporation, Baton Rouge, Louisiana, 1973.
6. J. A. Oleszkiewicz, "Theory and Design of High-Rate Plastic Media Trickling Filters" *Prog. Wat. Tech.* Vol. 9, pp 777-785, Pergamon Press., 1977.
7. M. W. Askew, "Plastic in Waste Treatment" *Process Biochem(Brit.)*, 2, 1, 31. 1967.
8. P. N. J. Chipperfield, "Performance for Plastic Filter Media in Industrial and Domestic Waste Treatment" *J. WPCF.*, Nov., 1967.
9. "The Design Construction and Operation of Plastic Media Filters" Ethyl Corporation.
10. W. W. Eckenfelder, *Industrial Water Pollution Control*, McGraw-Hill, p. 1966.
11. K. L. Schulze; "Elements of Trickling Filter Theory." *Advances in Biological Waste Treatment*, Vol. 10, 1963.
12. J. E. German, "Economical Treatment of Domestic Waste by Plastic Medium Trickling Filters," *J. WPCF.*, Vol. 38, No. 2, Feb. 1966.
13. National Research Council, "Trickling Filter in Sewage Treatment at Military Installations)," *Sewage Works J. Wol.* 18, No. 5, 1946.

14. W. S. Galler., and H. B. Gotoas, "Optimization Analysis for Biological Filter Design," J. of the San. Div. ASCE, Vol. 92, No. SA 1, 1966.
15. "Wastewater Treatability Study and Recommendation", Mayo Lynch and Associates Inc. Reports Dec. 1980.
16. A. G. Boon, "High- Rate Biological Treatment of Wastewaters Using Plastics-Medium Filters," *Industrial Wastes*, May-June, 1972.
17. C. E. Adam, and W. W. Eckenfelder, "Response of Activated Sludge to Organic Transient Loadings," J. San, Eng. Div. ASCE, Vol. 96. No SA 2, April, 1970.
18. G. J. Schroepfer, M. B. Al-Hakim, H. F. Seidel, and N. R. Ziemke, "Temperature effects on Trickling Filters", *Sewage and Industrial Wastes*, Vol. 24, No. 6, June, 1952.
19. P. N. J. Chipperfield, M. W. Askew, and J. H. Benton, "Multiple-Stage, Plastic-Media Treatment Plants", J. WPCF., Vol. 44, No. 10, Oct. 1972.

活性污泥系統操作與污泥特性關係之探討

王 月 花*

一、緒 言

近年來，由於工業之起飛，導致大量工業廢水之排放而污染河川、農田，政府一方面開發工業區，同時興建污水處理廠，使工業廢水在排放前能加以妥善處理。爲了減輕廢水中有機物所可能造成的污染程度，最常用的處理方法乃是生物處理法，其中又以典型的活性污泥系統採用最多。活性污泥系統主要包括二個程序，曝氣槽和二級沉澱池。活性污泥系統程序控制可分爲二部分，一爲操作變數之建立，一爲實驗室試驗結果之校核，而選擇適宜的操作參數（如 F/M, MLSS 濃度、污泥齡、微生物停留時間等）實爲整個系統是否成功的關鍵。程序控制的好壞，往往亦影響到處理廠的耗電量及其他耗費，所以，在不致擾亂二級沉澱池處理水水質之情形下，爲了節省電力及降低操作費用，操作員應嘗試選擇最佳的控制方法，並隨時加以調整之。本文旨在提出三種活性污泥系統程序控制的方法，即(一)曝氣量和溶氧控制(二)廢棄活性污泥的控制(三)迴流活性污泥的控制，分別說明各種控制方法之原理及特性。此外，特著重於迴流污泥的控制法，於推演理論關係後舉例說明最佳污泥迴流量之求法，並校核二級沉澱池的面積是否妥當，以供污水處理廠操作員之參考。

二、程序控制之原理及特性

(一) 曝氣量及溶氧的控制

活性污泥系統之基本原理，乃以曝氣槽內之微生物將廢水中的有機物氧化分解，故曝氣槽內混合液體的曝氣量及溶氧濃度應充足，以確保進入曝氣槽之廢水和迴流污泥能完全混合，並促進微生物的活性。溶氧不足，將減少微生物活性，甚至死亡；溶氧過高則造成電力的浪費，且可能導致污泥的不良沉降，而增加放流水的懸浮固體物。一般操作員可依下列方法來控制曝氣槽內的曝氣量及溶氧濃度。

1. 檢核溶氧濃度

操作員可每隔 2 小時，以溶氧測定儀 (D.O. meter) 或滴定法 (硫酸銅——氨基磺酸修正法) 來偵測曝氣槽的溶氧濃度，良好的溶氧濃度應維持在 1.0~3.0 mg/l 間。

2. 檢核曝氣槽的曝氣程度

每天觀察曝氣槽的曝氣情形，發現有曝氣不均勻或有死角存在時，可清除散氣器之孔口，或改用效率之高之曝氣機或增加散氣器的數目，或提高送風量，使槽內曝氣完全並均勻一致。

* 國立中興大學環境工程學系

3. 依不同曝氣設備，檢核空氣需要量

由 BOD 或 COD 的去除量與通入的總空氣量，計算欲去除 1 公斤的 BOD 或 COD 所需的空氣量，再與一般的設定值（如表一）比較，以調整送風量。

表一 正常操作的空氣需要量(1)

擴散式曝氣系統		機械式曝氣系統
m ³ 空氣量/kg 去除量		
COD	BOD	3.70~22.2
62~124	50~93	1.5~1.8

(二) 廢棄污泥量的控制

當微生物自廢水中去除 BOD 時，不斷增殖生物污泥。污泥廢棄的主要目的就是要移除微生物生長的數量，意即在微生物與食物量（如 COD, BOD）之間維持一個平衡，以達操作的穩定狀態。藉污泥的廢棄以控制活性污泥系統的方式，可經由下列任一種系統參數或任何系統參數合併使用，即 MLVSS 濃度，F/M 值，污泥齡與 MCRT（微生物停留時間），而獲得處理效果極佳的放流水。

1. 固定 MLVSS 濃度的控制

由於廢水流量及有機物濃度常隨時間而有所改變，曝氣槽內的 VSS 濃度亦隨之增減，若擬維持固定的 MLVSS 濃度，勢需隨時偵測 MLVSS 濃度，以供調整污泥廢棄控制閥的依據。其步驟為操作員首先選定在穩定與經濟的情況下且能產生最佳水質所需的 MLVSS 濃度，當槽內實測 MLVSS 濃度較選定值高時，即增加廢棄量，反之則減少廢棄量。此種控制方法既簡單又可節省操作人力，惟未能考慮直接影響平衡的變數，如 F/M 值和微生物的生長速率，致處理效率大為降低。通常在廢水特性與進流量較穩定的污水廠，操作員僅需配合進流水之 BOD 濃度以調整 MLVSS 濃度，即可得良好的放流水水質(2)。

2. 固定污泥齡的控制

污泥齡乃指系統中污泥總量與系統內每天增殖的污泥量之比值。大多數採用活性污泥法的污水處理廠，其污泥齡均控制於 3~8 天，故於污泥齡固定後，即可換算每天需自系統中排除的污泥量，而加以控制。

3. 固定 F/M 值的控制

F/M（食微比）為曝氣槽之廢水 BOD 進流量與 MLVSS 總量的比值。固定 F/M 值之目的乃為使曝氣槽內的微生物能充分利用廢水中的有機食物。對一定數量的微生物，若食物的供應太多或太少，均將發生操作上的問題而降低放流水水質。操作方法可依進流廢水 BOD 量之大小加以調整曝氣槽內的 MLVSS 濃度，而維持 F/M 於定值，一般 F/M 值在 0.1~0.5 day⁻¹，可得滿意的放流水水質(2)。

4. 固定 MCRT 的控制

MCRT 表示微生物停留於活性污泥系統的平均時間。利用 MCRT 的控制亦可達到控制有機負荷（F/M）的目的，並決定系統中佔優勢的微生物種類。除此之外，經由關係式

$Q = \frac{SI}{(MCRT)(RAS_{VSS})}$ ，可計算污泥排棄量，式中 SI 為曝氣槽的固體量， RAS_{VSS} 代表迴流污泥的 VSS 濃度，Q 為廢棄污泥流量。因此，固定 MCRT 可用以控制污泥之廢棄量。一般操作情形之 MCRT 應維持在 7 ~ 15 天間(1)。

(三) 迴流污泥量的控制

迴流污泥量過多或過少皆會影響污水處理廠的處理效果，迴流污泥量過多，則微生物活性增高，無法使系統維持一適當的 F/M 值與良好的污泥沉降性。於低 F/M 時，大量分散的微生物體可能溢出沉澱池而增加放流水的懸浮固體濃度。迴流污泥不夠時，將導致有機物氧化分解不完全，且影響污泥的沉降性。因此，欲使曝氣槽之污泥濃度維持於合理的範圍，則必須控制迴流污泥量。通常若迴流污泥百分比低於 15% 或增高至 150% 以上，會使操作上發生困難。控制迴流污泥的方法有二(1)(3)：

1. 定值控制

此法假定迴流污泥量與廢水進流量無關，不管廢水進流量多寡，迴流污泥量均保持一定。迴流污泥量控制一定，曝氣槽的 VSS 濃度將隨廢水進流量之改變而改變，這種改變一般認為對操作不致產生重大影響。由於操作簡單，僅需設置迴流污泥控制閥，而定時迴流一定量的污泥，可節省勞力及操作時間，故小廠採用甚多，但若廢水中有機物濃度變化甚大時，依此法操作的結果，放流水水質常直接隨進流水有機物濃度而突然增高。

2. 定比控制

使迴流污泥量與進流廢水量保持一定的比值，此控制法可利用一自動流量計，或經常以人工依廢水進流量而調整迴流污泥量。若曝氣槽的 VSS 濃度可經常保持固定，則值亦可維持於一定值，且污泥停留於沉澱池的時間較短，可降低沉澱池產生脫硝作用的可能性。但在廢水進流量很大時，沉澱池因承受大量污泥負荷，可能導致懸浮固體物溢流而出，故一般採用活性污泥法的污水處理廠較少採用定比法控制迴流污泥量。

三、二級沉澱池與迴流污泥量的關係

二級沉澱池的經濟設計，必須同時考慮沉澱池中污泥的沉降作用和濃縮作用。

對於沉降作用的考慮較為簡單，可利用實驗室的污泥層沉降速度 (zone settling velocity) 而使

$$(1+r) Q_A < \frac{V_z}{SF} \quad \text{①}$$

式中 Q_A = 沉澱池溢流率， m^3/m^2-hr

r = 迴流比

V_z = 層沉降速度， m/hr

SF = 安全係數

A = 沉澱池面積， m^2 。

由於真正的沉澱池與實驗室設備不同，因此須考慮一安全係數，其值通常介於 1.2 與 1.5 之間。

二級沉澱中污泥濃縮作用的考慮較為複雜，過去常採用試誤法以設計二級沉澱池所需面積。本文在此經由理論推導，以利用實驗所得的污泥層沉降速度為依據，而求出設計或評估的關係式。首先假設活性污泥具有下列特性(4)，

$$V_z = KX^{-n} \dots\dots\dots ②$$

式中 X = 污泥固體濃度， kg/m^3

K, n = 常數。

由固體物沉降所引起的固體通量 (batch flux) 若定義為 G_B ，

$$G_B = V_z X \dots\dots\dots ③$$

因此

$$G_B = KX^{-n+1} \dots\dots\dots ④$$

式中 G_B = 自然沉降之固體通量， $\text{kg}/\text{m}^2\text{-hr}$ 。

二級沉澱池中當固體物濃度為 X 時的總固體通量 (total flux)，即為自然沉降之固體通量與底流之固體通量 (underflow flux) 之和，

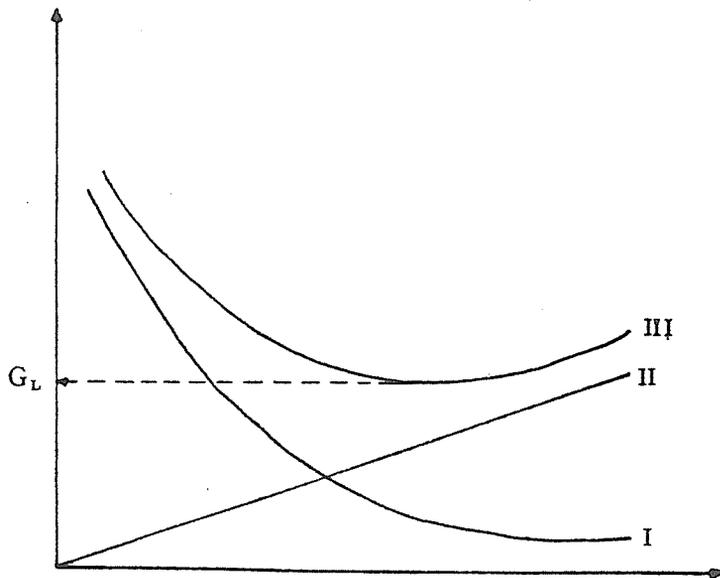
$$G_C = KX^{1-n} + XU \dots\dots\dots ⑤$$

式中 G_C = 總固體通量， $\text{kg}/\text{m}^2\text{-hr}$

U = 底流污泥的迴流速率， m/hr

式⑤的關係如圖一所示，曲線 I 代表 G_B ，曲線 II 代表 XU ，曲線 III 為曲線 I 與曲線 II 之和，即 G_C 。 G_C 曲線的最低點相對於縱座標之值稱為固體極限通量 (limiting flux)， G_L ，即表示二級沉澱池所能承受的最大固體通量。

圖一 固體通量與固體物濃度的關係



若令 $\partial G_c / \partial X = 0$ ，化簡式⑥後可得固體極限通量與其相對的固體物濃度，

$$G_L = K \left[\frac{K(n-1)}{U} \right]^{\frac{1}{n}-1} + U \left[\frac{K(n-1)}{U} \right]^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots ⑥$$

$$X_L = \left[\frac{K(n-1)}{U} \right]^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots ⑦$$

常忽略自沉澱池溢出的固體物量時，則沉澱池之固體物質質量平衡具有下列關係，

$$G_L = X_R U \dots\dots\dots ⑧$$

式中 X_R = 底流污泥濃度， kg/m^3

將式⑧代入式⑥得

$$G_L = Kn^n [(n-1)X_R]^{1-n} \dots\dots\dots ⑨$$

因此，對一已知特性之污泥 (K ， n 為已知)，其固體極限通量僅與底流污泥濃度有關。因為 n 值通常大於 1，所以固體極限通量與底流污泥濃度成反比關係。再由沉澱池之質量平衡可得

$$X_a = \frac{r}{1+r} X_R \dots\dots\dots ⑩$$

式中 X_a = MLSS 濃度

由沉澱池固體通量的定義

$$G_L = X_a (1+r) Q_A \dots\dots\dots ⑪$$

將式⑩與式⑪分別代入式⑨，可得 MLSS 濃度與 r 的關係，

$$X_a = n \left(\frac{K}{Q_A} \right)^{\frac{1}{n}} (n-1)^{\frac{1}{n}-1} \frac{r^{1-\frac{1}{n}}}{1+r} \dots\dots\dots ⑫$$

欲使系統內之 X_a 為最大，令 $\partial X_a / \partial r = 0$ ，則此時之迴流比即為最佳迴流比 r_m ，

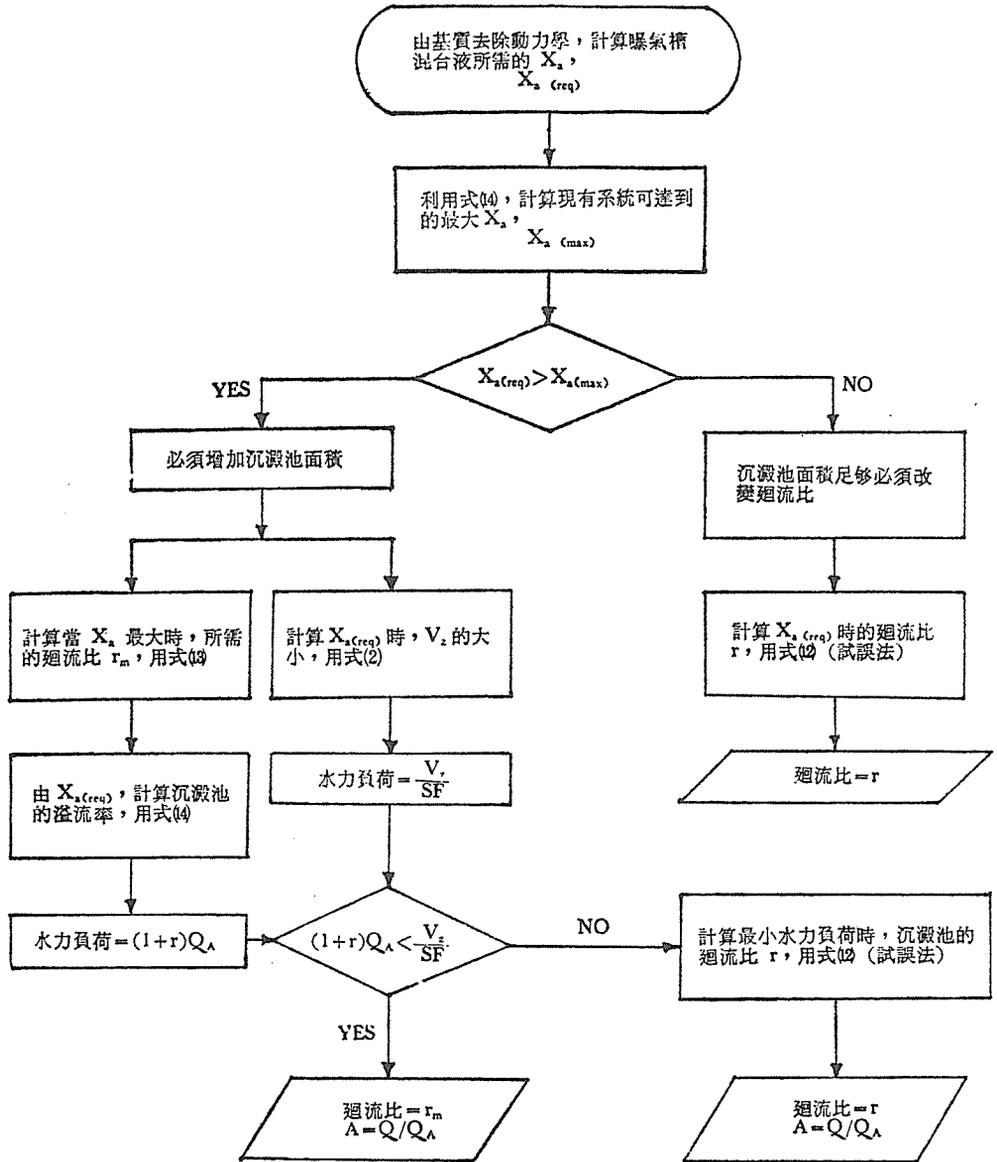
$$r_m = n - 1 \dots\dots\dots ⑬$$

式中 r_m 為產生最大 MLSS 濃度時的迴流比。

再將式⑬代入式⑫，

$$X_{a(\max)} = \left(\frac{K}{Q_A} \right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots ⑭$$

傳統式活性污泥系統之迴流污泥量通常介於 20~40%，但當進流水量與水質發生變化時，操作員對於迴流量究竟應為多少才能使曝氣槽的功能發揮至最大，常常束手無策，僅能憑經驗試著辦。故本文乃根據污泥沉降速度為污泥濃度的函數， $V_z = KX^{-n}$ ，利用固體通量之原理導出最佳迴流量，以供操作員日常操作之參考。由於操作員僅需進行簡單的沉降試驗，即可推計二級沉澱池迴流至曝氣槽的污泥流量，而即時加以調整，故為一簡便可行的方法，其演算步驟如圖二所示。



圖二 二級沉澱池最佳迴流比的演算流程

四、實例解說

【問題】

某採用活性污泥法的污水處理廠，其操作情形如下：

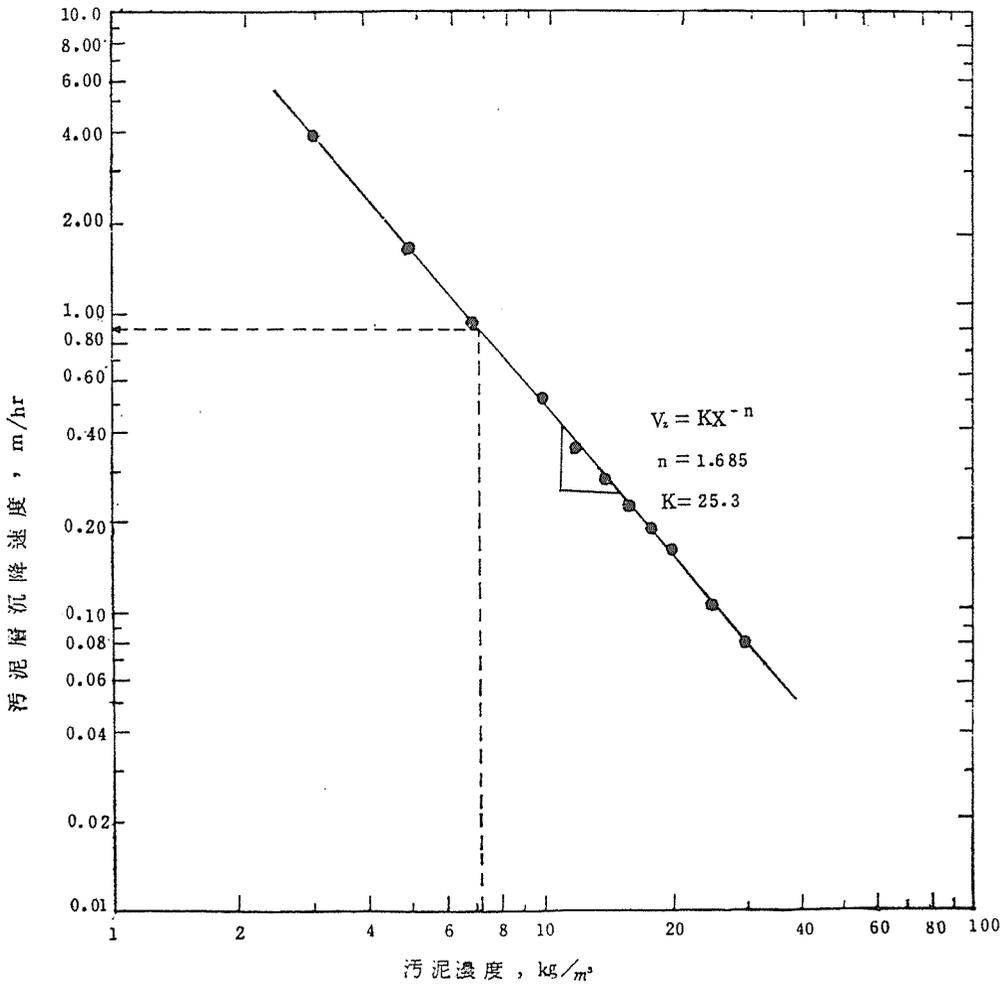
進流廢水量 = 1260 m³/hr (30,240 m³/day)

進流廢水 BOD = 240 mg/l
 曝氣槽體積 = 3600 m³
 二級沉澱池面積 = 775 m²
 MLSS 的揮發性百分比 = 80%
 BOD 反應速率常數 K = 8.0 day⁻¹
 放流水 BOD 限值 = 10 mg/l

已知實驗結果，將污泥沉降速度與 MLSS 濃度列於表二並繪於圖三，由圖三的線性關係得常數 K 和 n 如下：

$K = 25.3$
 $n = 1.685$

試校核迴流比及二級沉澱池之效率。



圖三 污泥層沉降速度與固體物濃度的關係

表二 污泥層沉降試驗結果

MLSS (kg/m ³)	V _z (m/hr)
3.0	3.96
5.0	1.64
7.0	0.94
10.0	0.52
12.0	0.36
14.0	0.29
16.0	0.23
18.0	0.19
20.0	0.16
25.0	0.11
30.0	0.08

【解答】

1. 計算曝氣槽內所需的 MLVSS 濃度(5)

$$\begin{aligned}
 X_v &= \frac{Q}{V} \cdot \frac{S_0(S_0 - S_e)}{K S_e} \\
 &= \frac{30240 \times 240 (240 - 10)}{3600 \times 8 \times 10} \\
 &= 5800 \text{ mg/l} = 5.8 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

2. 計算曝氣槽的 MLSS 濃度

$$\begin{aligned}
 X_a &= \frac{X_v}{0.8} \\
 &= \frac{5.8}{0.8} \\
 &= 7.25 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

3. 計算現有二級沉澱池可獲得的最大 MLSS 濃度

$$\begin{aligned}
 X_a &= \left(\frac{K}{Q_A} \right)^{\frac{1}{n}} \\
 &= \left(\frac{25.3 \times 775}{1260} \right)^{\frac{1}{1.055}} \\
 &= 5.09 \text{ kg/m}^3 (< 7.25 \text{ kg/m}^3)
 \end{aligned}$$

由此可知無法達到去除有機物所需的 MLSS 濃度，故必須設法增加沉澱池面積，同時改變迴流比。

4. 設 $X_a = 7.25 \text{ kg/m}^3$ 為最大濃度時，則迴流比應為

$$\begin{aligned}
 r_m &= n - 1 \\
 &= 1.685 - 1
 \end{aligned}$$

$$= 0.685$$

二級沉澱池之溢流率應為

$$\begin{aligned} Q_A &= \frac{K}{[X_a]^{(max)}]^n} \\ &= \frac{25.3}{(7.25)^{1.685}} \\ &= 0.898 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr} \end{aligned}$$

故水力負荷為 $(1+r) Q_A = (1+0.685) 0.898 = 1.51 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr}$

5.校核自然沉降作用所需之水力負荷

當 $X_a = 7.25 \text{ kg/m}^3$ 時，由圖三得 $V_z = 0.9 \text{ m/hr}$ ，設安全係數為 1.2，則水力負荷為

$$\frac{V_z}{SF} = \frac{0.9}{1.2} = 0.75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr}$$

6.由上述計算可知，在現有污泥沉降之要求下，二級沉澱池的功能主要受自然沉降作用所控制，即二級沉澱池的水力負荷必須不大於 $0.75 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr}$ ，方可獲得 X_a 不小於 7.25 kg/m^3 ，此時所需之迴流比與沉澱池表面積可利用式⑫與下式聯解而得，

$$(1+r) Q_A = 0.75$$

其結果為

$$r = 16.5\%$$

$$Q_A = 0.64 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{-hr}$$

$$\text{即 } A = \frac{Q}{Q_A} = \frac{1260}{0.64} = 1957 \text{ m}^2$$

7.因原有二級沉澱池面積僅 775 m^2 ，故必須擴建至 1957 m^2 ，意即新建 1182 m^2 的二級沉澱池，才能使處理後放流水的 BOD 濃度在 10 mg/l 限值以下。

五、結 語

(一)曝氣槽為活性污泥生物處理之重心，其處理效果易受水質、水量之變化及其他操作參數之影響，操作相當困難，大型污水處理廠宜考慮設立電腦控制中心，完全利用電腦程式設計來控制系統的操作，以節省勞力，並提高處理效果。

(二)迴流污泥量的控制法有定值控制與定比控制兩種，通常前者被採用較多，尤其廢水流量未超出 10 MGD 的污水處理廠，大都以定值法來控制迴流污泥量。

(三)若污泥沉降性具有 $V_z = KX^{-n}$ 的關係，利用固體通量之原理，可得到最佳迴流比 $r_m = n - 1$ ，故僅由簡單的沉降試驗，操作員即可控制迴流污泥量。

(四)本文所提各種控制方式，各有其特性及適用條件，設計者應視污水性質及處理廠之人力與財源，選用最適當的控制方法及設備，以發揮處理功能。

參 考 文 獻

1. 廢水處理廠操作與管理研習會講義，Chap. XIV Process Control Manual for Activated

Sludge Process. 國立中興大學環境工程學系 (1981)。

2. 陳哲晴，「曝氣槽溶氧量及活性污泥量自動控制方法之選擇」，第五屆廢水處理技術研討會專題報告，國立成功大學環境工程學系暨研究所 (1980)。
3. West, A. W., Return Sludge Flow Control, U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water Program Operation, Cincinnati, Ohio, pp. 12 (1973).
4. Vesilind, P. A., Treatment and Disposal of Wastewater Sludge, Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, pp. 68-79 (1974).
5. Eckenfelder, W. W. Principles of Water Quality Management, CBI Publishing Company, Inc., Boston, Massachusetts, pp. 275 (1980).

低濾率碎石濾料滴濾池處理法簡介

李俊德*

說 明

此處理程序包含一個濾石濾料固定床，廢水經其上滴流，以便進行喜氣處理。濾料上形成之生物黏膜氧化分解廢水中之物質。散水設備 (distributor) 將廢水散布於濾床，處理後之廢水由排水設備收集。通常不用迴流。初級處理常用來改善滴濾池性能。

由於旋轉散水製置可靠且容易維護，已成標準設備。與高濾滴濾池利用連續迴流放流水，維持旋轉臂一定水力負荷不同之處為低濾率滴濾池使用吸水位控制之抽水機 (suction-level controlled pump) 或散水虹吸管 (dosing siphon)。但是，進流量不適當時可能需要停止散水。

排水系統為特製上釉之陶塊 (vitrified-clay blocks)，可支撐濾料並使處理水通過，流到集水井再送到終沉池。濾料由 1 至 5 吋石頭組成。濾池由鋼筋混凝土構成，設置於地上以支持濾料重量。

低濾率滴濾池之平面通常為圓形，5 至 10 呎深。雖然平常不迴流放流水，但於低流量期能使用備用工具以保持濾料之濕潤。

廢水中有機物由附着於濾料上之微生物分解。當微生物增長時，生物膜厚度增加。廢水周期地沖下生物膜，新生物膜將重新生長。這種生物膜脫落現象稱為剝落 (sloughing)，主要受濾池有機物及水力負荷影響。

常見之改良法：有迴流、多段式、電力散水設備、機械通風、濾池頂蓋 (Filter covers)，及使用各種廢水之前處理及後處理。

技術地位：本處理程序使用廣泛，在氣候適當的地區本法具高度可靠性。在較冷地區常需後處理或多段式處理以便符合放流水標準。

應用：以喜氣處理配合適當之前、後處理來處理家庭污水及適宜的工業廢水。本程序能有效地去除懸浮固體及膠體，但對溶解有機物去除率較差。可在初級生物處理後當作硝化之用，或於有機物負荷低而氣候溫暖時用作單獨處理。

限制：易受氣候變化及低溫之影響。常發生濾蠅及臭味。常有生物膜不當潤濕期。處理含高濃度溶解性有機物之廢水效率較低。與具競爭性處理程序比較，其彈性及控制較受限制。土地及初設費大。操作不良時需數週回復期。

代表性設備：有排水系統；散水設備；濾池頂蓋 (Filter covers)。

性能：配合初沉池且不迴流之滴濾池，其去除率為：

BOD_5 : 75~90%， 磷 : 10~30%， NH_3-N : 20~40%， S.S. : 75~90%。

* 本小組委員
成功大學環境工程系教授

產生之殘餘物質：每百萬加侖含500~700磅乾固體之廢水可在終沉池產生 3,000~4,000 加侖之污泥。

設計規範

水力負荷：1~4 百萬加侖/英畝/日；25~90加侖/日/平方呎。

迴流比：0。

有機物負荷：200~900磅 BOD₅/日/英畝呎；5~20磅 BOD₅/日/1000立方呎。

池深：5~10呎。

剝落：間歇性。

散水間隔：每日大多數時間連續散水；但低流量時可間歇散水（不超過5分鐘）。

排水系統最小坡度 = 1%。

散流水渠道最小流速 = 2呎/秒（在平均日流量時）。

濾料—石頭，1吋至5吋。

程序及機械之可靠性：適當氣候下具高度可靠性。機械之可靠性高。程序之操作只需少許技術。

環境衝擊：臭氣問題；與其它程序比較需較多之土地；濾蠅問題。

流程圖：



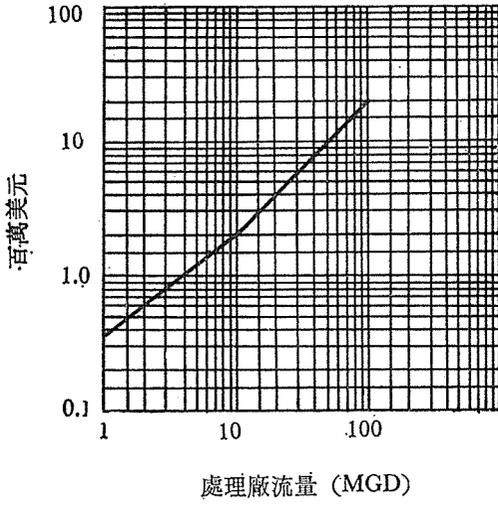
能量摘記：本程序需操作水頭。抽水所需能量可由下列公式概括： $\text{呎小時/年} = 1900 \text{ (百萬加侖/日)} \times (\text{出水水頭, 呎})$ ，於此程序中典型之水頭需求為10呎，則預期所需能量為 19,000呎小時/年/百萬加侖/日/年。百萬加侖 = 進流量 + 迴流量（雖然迴流量常為零或間歇）。

水質：	進流水 (mg/l)	放流水 (mg/l)
BOD ₅	130	25
懸浮固體物	100	25

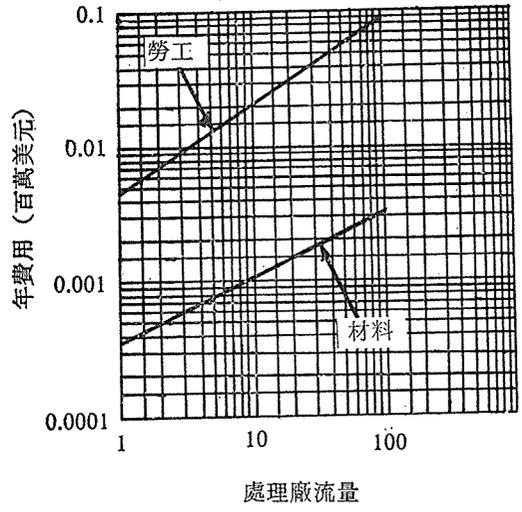
費用（1977年一月幣值）：

1. 建造費根據：池深 = 8 呎；有機物負荷 = 10磅 BOD₅/日/1000ft³；
水力負荷 = 75加侖/日/平方呎；迴流比 = 0。
2. 建造費包括鋼筋混凝土結構，旋轉散水設備，碎石濾料及排水系統。不包含沉澱池及迴流設備。
3. 操作及維護費包含人工費（7.5美元/小時）及材料，不包含任何能量費。

建造費用



操作及維護費



污泥容積指數 (SVI) 與活性污泥特性之關係

陳 秋 楊*

摘 要

本文利用二個實驗室與十二個污水處理廠的活性污泥，以求出絲狀菌、膠羽大小、以及懸浮固體濃度對活性污泥容積指數 (SVI) 測定值的影響，同時亦觀察 SVI 與污泥層沉降速度之關係。試驗用的污泥濃度 (SS) 介於 700~4800 mg/l，結果顯示當絲狀菌之絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg}$ SS 時，對 SVI 測定值沒有影響，若絲長與濃度值大於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg}$ SS，則 SVI 測定值隨絲狀菌濃度之增加而急劇增高。

當絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg}$ SS 時，於前述之污泥濃度範圍內，SVI 測定值與生物膠羽大小有關，若絲長與濃度值大於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg}$ SS，則 SVI 測定值不受膠羽大小的影響。

此外，SVI 測定值與懸浮固體濃度關係曲線之形狀亦與絲長有關。本文最後並提出 SVI 測定值與污泥層沉降速度在不同懸浮固體濃度下之關係，可供活性污泥系統操作上之參考。

一、前 言

在活性污泥系統操作及研究上，污泥容積指數 (SVI) 常用來表示活性污泥之沉降特性，如今有許多學者已證實 SVI 不能真正指示出活性污泥的沉降特性。Dick & Vesilind (1969) 發現 SVI 可作為廠內控制的有用參數，但不能用在比較不同處理廠之污泥沉降特性，也不能預估二級沉澱池之底流固體濃度，以決定污泥迴流率。Schaffner & Pipes (1978) 報告實際處理廠實驗結果，從 SVI 計算底流固體濃度，十一次測值中，僅一次相符，六次較低，四次較高。雖然如此，SVI 仍廣泛的被用為標準方法，此乃由於對於缺乏良好訓練之操作者較易於分析之故。

SVI 與活性污泥中的生物、化學、物理等特性相互影響，因此很難觀察出 SVI 與任何一種因子有固定關係存在。Dick & Vesilind (1969) 報告指出，SVI 隨污泥物理性質而變化，例如塑性黏滯度與產量強度。SVI 會隨着塑性黏滯度及產量強度增加而增加，但此種關係並非所有污泥皆盡然。

在處理廠控制上，SVI 決定污泥的狀況及是否有鬆化現象 (bulking) 發生。鬆化污泥的 SVI 值大於 100 ml/g，並且大多數例子中證明此污泥中存在過量的絲狀菌。SVI 與絲狀菌數量有明確關係，當 SS 濃度在 1000~1600 mg/l，絲長與濃度值超過 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg}$ SS 時，SVI 由 100ml/g 急劇增加。相同的實驗結果亦於很多廢水處理廠中可以看見 (Sezgin et al, 1980)。

* 本小組委員

國立中興大學環境工程系教授兼系主任

本文主題之一是探討在不同 SS 濃度下，絲狀菌對 SVI 的影響，另一主題則是決定膠羽大小對 SVI 的影響，並研究污泥層沉降速度與 SVI 值的關係。

二、材料與方法

活性污泥是從二個實驗室活性污泥單元及十二個污水處理廠取得，並調查在不同 SS 濃度下，SVI 與絲狀菌及膠羽大小間的變化情況。實驗室活性污泥處理單元是採用連續式柱狀曝氣槽（直徑 14 cm，高 79 cm，容量為 10.37 ℓ）及倒三角錐型之沉澱池（容積 1.1 ℓ）。曝氣槽以三葉攪拌器攪拌，並用空氣或氧曝氣，使產生 $83\sim 85 \text{ sec}^{-1}$ 之平均速度坡降，植種來自家庭污水處理廠，分析項目根據標準實驗法 (Standard Method, APHA, 1976)。

實驗室之沉降試驗是在曝氣槽 SS 濃度為 700, 1100, 1500 mg/ℓ 時進行，因曝氣槽構造就如一沉降柱，因此沉降試驗可直接在曝氣槽中進行，不需移出污泥測定。在沉降試驗中，沉降柱以單葉攪拌器攪拌，速度為 2/3 rpm，污泥液體界面每隔 60 min 記錄一次。SVI 試驗則是在 SS 濃度為 700, 1100, 1500 mg/ℓ 時，以 1 ℓ 量筒，測定 30 min 沉降後之污泥體積。

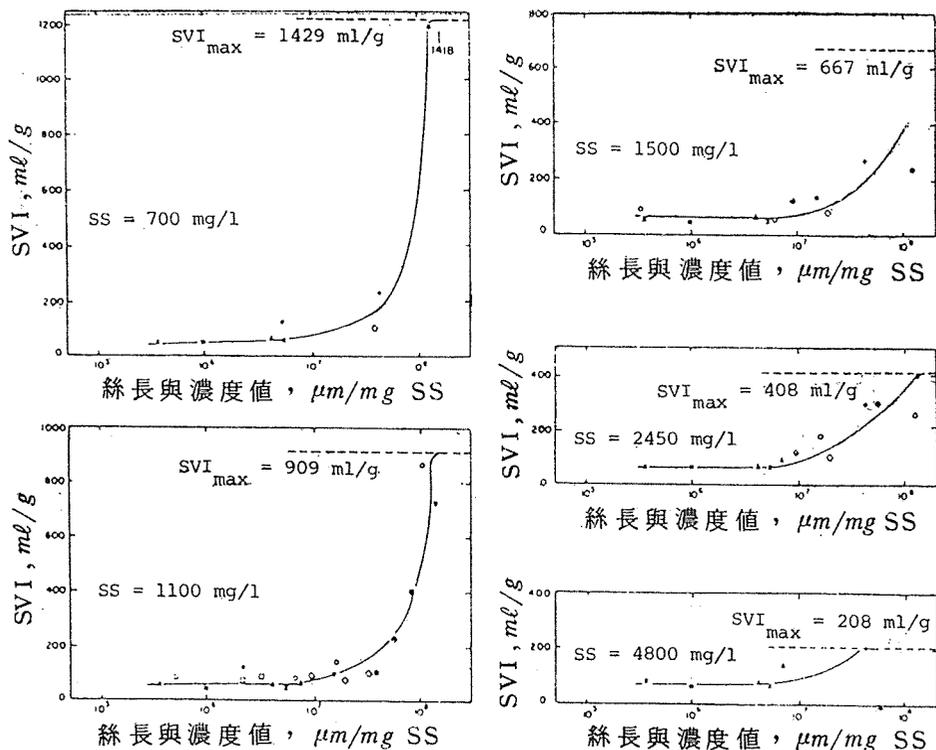
在處理廠部份，四個為家庭污水處理廠，其他為家庭污水與工業廢水之混合處理廠，工業廢水包括食品、金屬電鍍、染整、製革、電子工廠之廢水。

處理廠之活性污泥樣品是由沉澱池之底流管收集，再將 SS 濃度稀釋為 700, 1100, 1500, 2450, 4800 mg/ℓ，沉降試驗則使用與實驗室曝氣槽相同之沉降柱，在沉降試驗前先行攪拌並以 $83\sim 85 \text{ sec}^{-1}$ 之平均速度坡降曝氣 15 min，SVI 試驗亦分別在 SS 濃度為 700, 1100, 1500, 2450, 4800 mg/ℓ 時進行測定。

膠羽及絲狀物的記數大小測定，是在稀釋水樣中利用 Sezgin (1980) 描述之方法，測定膠羽及絲狀物之數量與大小。為了增加測定精確度，每一水樣反覆使用，測定四次，實驗結果之平均值與差異係數 (coefficient of variation) 如表一所示。

表一 實驗室分析膠羽大小與絲長之精度

項 目	平 均 值	差異係數 (%)
膠羽數，個/mg	1.1×10^4	20
	5.5×10^4	13
膠羽大小， μm	224	7
	532	9
絲狀物，個/mg	0.7×10^4	24
	33.9×10^4	4
絲長與濃度值， $\mu\text{m} / \text{mg SS}$	3.2×10^5	55
	7.3×10^7	16



圖一 不同 SS 濃度與絲長對 SVI 值之影響

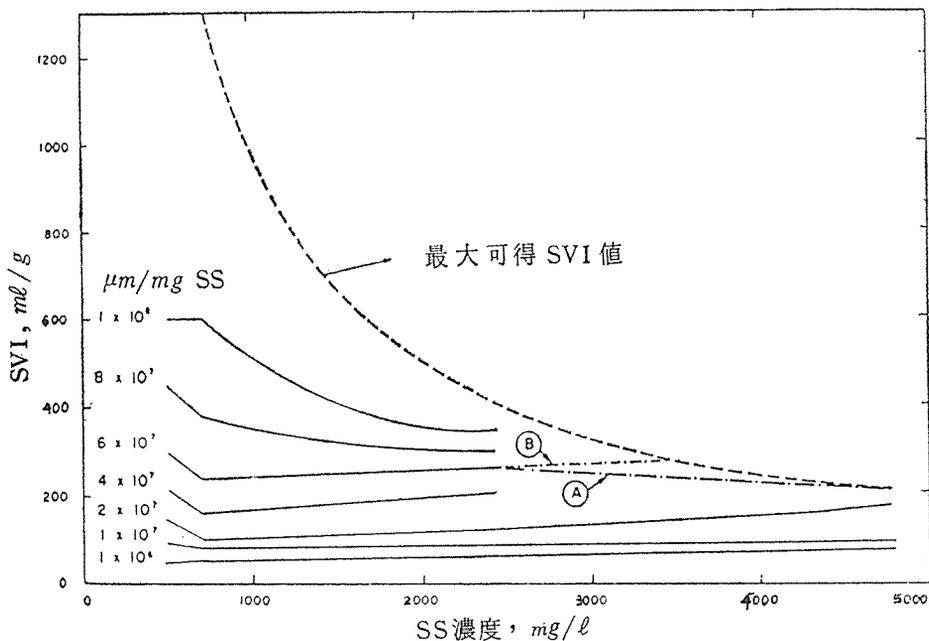
三、結果與討論

(一) 絲長與 SS 濃度對 SVI 之影響

圖一顯示不同 SS 濃度時，SVI 隨絲狀菌總長度而變化。SS 濃度在 700~4800 mg/l 範圍內，絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ，對 SVI 沒有影響，此時 SVI 小於 100 ml/g。而當絲長與濃度值超過 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ，SVI 會隨絲長與濃度值之增加而快速增加。污泥未沉降前，污泥體積常為 1000 ml，故對 SS 濃度為 $X \text{mg}/\text{l}$ 之污泥，其可得最大 SVI 值為 $\frac{10^6}{X}$ ，因此在固定

SS 濃度下，當絲長與濃度值增加，SVI 將增加至最高界限，然後因體積限制 (1000 ml)，SVI 值成水平變化，如此結果，SVI 與絲長濃度值之關係成 S 形之曲線，曲線之平滑或陡峭，則由絲狀物數量與活性污泥膠羽數量之關係及兩者在沉降過程之相互作用而決定。由圖一可知，當絲長與濃度值超過臨界極限 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SS 濃度低者，S 曲線很陡直，然而 SS 濃度較高者，SVI 隨絲長與濃度值之增加呈現緩慢增加。

由圖一可找出在不同絲長與濃度值時，SVI 與 SS 濃度的關係，示如圖二，SVI 與 SS 濃度之曲線形狀由絲長與濃度值來決定。在中等絲長與濃度值範圍 ($4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 與 SS 濃度曲線包含兩部分，一部份上升，另一部分下降。例如，絲長為 $6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SS 濃度由 700 mg/l 增加至 2450 mg/l，則 SVI 由 240 ml/g 增加至 260 ml/g。若 SS



圖二 不同絲長與 SS 濃度對 SVI 值之影響

再繼續由 2450 mg/l 增加到 4800 mg/l，結果 SVI 反而由 260 ml/g 降至 208 ml/g。在圖二中，於 $4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m/mgSS}$ 之絲長與濃度值內，曲線下降部份並未顯示出，此乃因缺少 SS 濃度在 2450~4800 mg/l 時之 SVI 值。因此在 $4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m/mgSS}$ 絲長與濃度值內，尚不知是否在 2450 mg/l 時有轉折點（曲線 A）或 SVI 隨 SS 濃度增加而增加（曲線 B）。在較低絲長與濃度值範圍如 $10^6 \sim 10^7 \mu\text{m/mgSS}$ 時，SVI 會隨 SS 濃度增加而緩慢的增加。這很有可能是因為在低絲狀物濃度，其 SVI 曲線上升及下降間的轉折點在 SS 濃度為 4800 mg/l 時仍未達到。在較高之絲長與濃度值範圍內，例如超過 $8 \times 10^7 \mu\text{m/mgSS}$ ，SVI 會隨 SS 濃度增加而漸減少，但沒有數據能表示出 SS 濃度在 2450~4800 mg/l 間時 SVI 值之變化。隨絲長及 SS 濃度而產生 SVI 之變化，可由絲狀菌對活性污泥膠羽之凝結及污泥沉降兩者的影響來解釋。

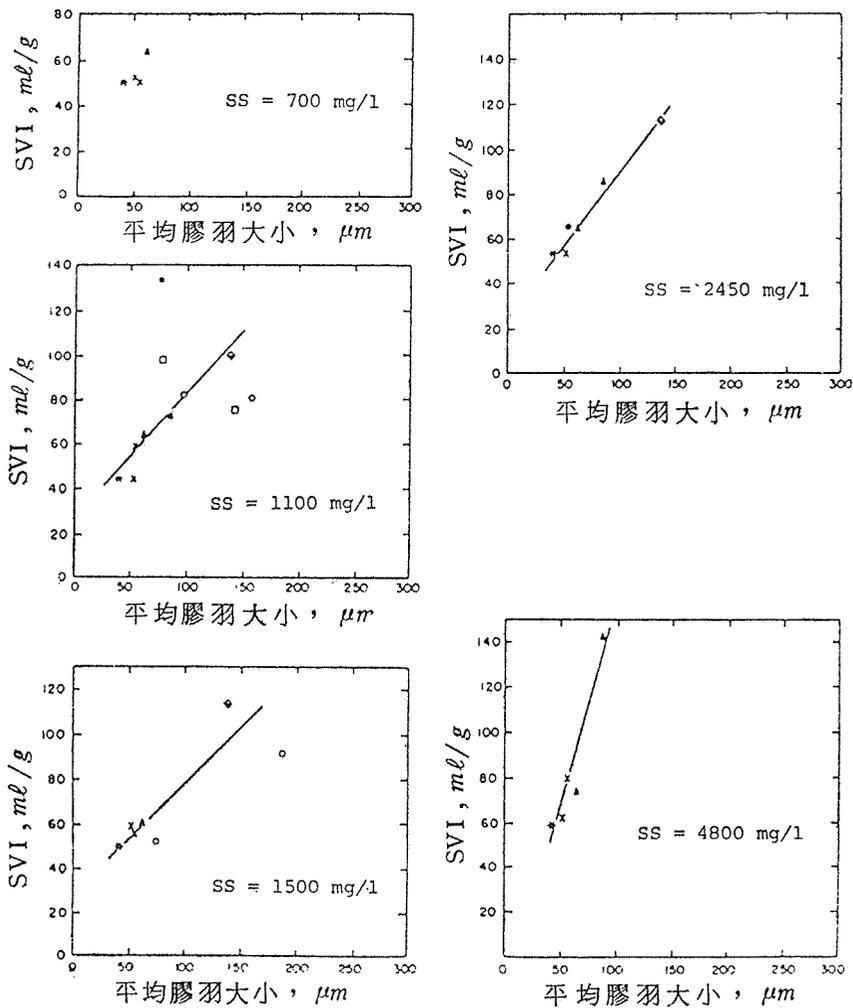
於膠凝過程中有不同形式的聚集形成，這已被認為主要由活性污泥膠羽中伸出的絲狀菌數量來決定。於伸出之絲長非常短時（絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m/mgSS}$ ），膠羽相互接近會形成粒子與粒子之接觸，因此聚集成高密度的膠羽。當膠羽之絲長與濃度值大於 $10^7 \mu\text{m/mgSS}$ ，開始接觸是發生於菌絲間及菌絲與膠羽間，因此形成菌絲的聚集及菌絲與膠羽的聚集二種，這些聚集物較鬆且密度低。

在未攪拌之桶分式 (batch) 沉降試驗中，SS 濃度甚低時，仍能產生膠羽間的聚集，如同絲長與濃度值在 $10^6 \sim 10^7 \mu\text{m/mgSS}$ 時，也可得很好的污泥沉降及較低的 SVI 值。然而在此低絲長與濃度值之情況下，隨 SS 濃度增加則 SVI 僅緩慢增加，這可歸因於聚集成膠羽的機會較少所致。Vesilind (1969) 曾解釋濃污泥凝聚低是因具有親和力之菌絲，因受固體剪力作用而分開，但若污泥緩慢的攪拌，使粒子產生物理性重新排列及增加碰撞機會，則可提高凝聚作用。由於 SVI 是沉降污泥體積與 SS 濃度之比值，因此欲增加 SVI 值，需沉降污泥體積較 SS 濃度

之增加更為快速方可。

於固定 SS 濃度時，增加絲長與濃度值（例如 $10^6 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 增至 $10^8 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ ）亦會增加 SVI 值，這是因為形成了膠羽與菌絲及菌絲與菌絲間的聚集，這些凝聚沉澱非常緩慢，故造成較高 SVI 值。

在中等範圍的絲長與濃度值 ($4\sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線上升部份導因於增加了未能凝聚之污泥，凝聚作用低是因菌絲存在及增加 SS 濃度，且沉降污泥體積比 SS 濃度快速增加，致使 SVI 值升高。另外，絲長與濃度值在 $4\sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 間或較高之 $7\sim 8 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，其 SVI 曲線下降部份是由於絲狀菌及 SS 濃度的共同影響，雖然產生低凝聚力之污泥，但沉降污泥體積的增加較 SS 濃度不明顯，SS 濃度增高之結果，SVI 值反而降低。



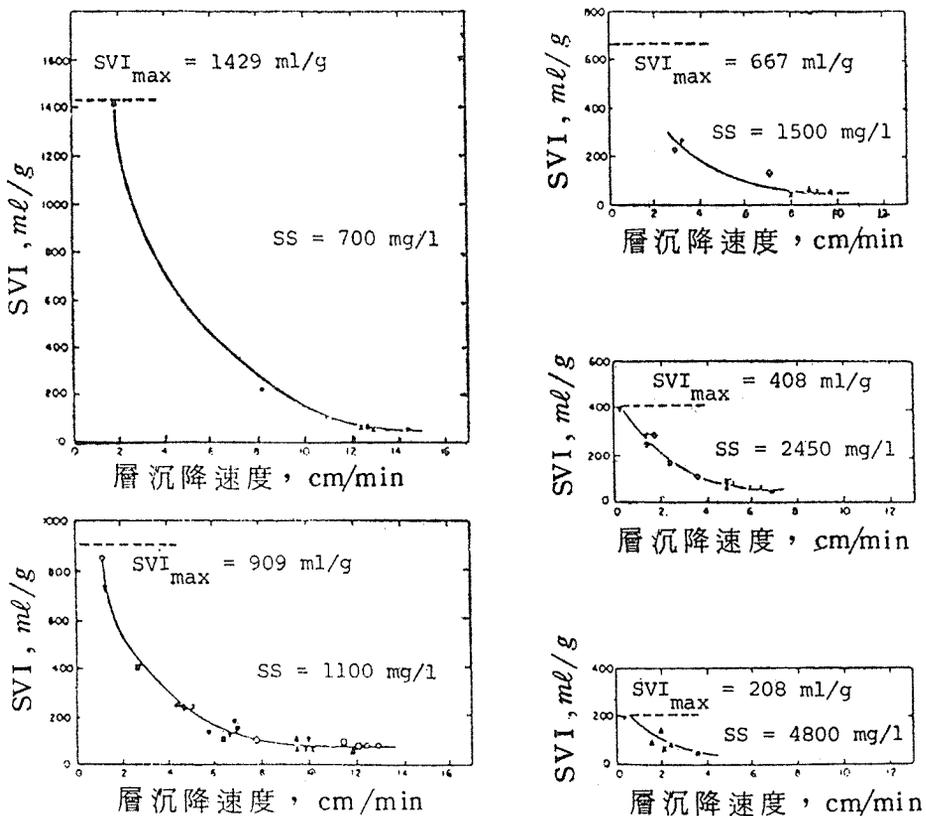
圖三 不同 SS 濃度對 SVI 值與膠羽大小之影響

(二) 膠羽大小對 SVI 的影響

當研究活性污泥之物理特性間可能關係時，發現在絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 與平均膠羽大小有關係存在，如圖三，SS 濃度在 $1100 \sim 4800 \text{ mg}/\ell$ 範圍內，SVI 隨平均膠羽大小增加，而在 SS 濃度為 $700 \text{ mg}/\ell$ 時，沒有足夠數據表示相同的關係。Javaheri & Dick (1969) 研究報告指出，隨活性污泥濃縮使得密度有顯著增加，以致凝聚顆粒多而較小。因此，若膠羽密度減少而膠羽增大，則得到上升之 SVI 值（如圖三），然而，平均膠羽大小影響 SVI 值有其極限。

(三) SVI 與層沉降速度的關係

Dick & Vesilind (1969) 曾報告 SVI 與層沉降速度沒有一致的關係，然而本研究在於不考慮任何種類污泥但具有相同 SS 濃度時，層沉降速度與 SVI 間有一致的關係，如圖四。Chao & Keinath (1979) 研究合成基質及實驗室活性污泥單元，發現 SVI 與層沉降速度有相似的關係，而 SVI 是否能代表污泥沉降特性却尚未解決。這些結果指出，假使由桶分式沉降試驗測定之層沉降速度能代表污泥沉降性質，則在相同之 SS 濃度下，SVI 可用為代表近似的污泥特性。



圖四 不同 SS 度時 SVI 值與層沉降速度之關係

四、結 論

1. SVI 值受膠羽大小、SS 濃度、絲狀菌之存在等污泥特性所影響。
2. SS 濃度在 700~4800 mg/ℓ 範圍內，當絲長與濃度值超過 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 增加快速，然而絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，絲狀菌對 SVI 沒有影響。
3. 在固定 SS 濃度下，絲長與濃度值小於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，SVI 最初受膠羽大小所影響，SVI 隨平均膠羽大小增加而增加，然而在絲長與濃度值大於 $10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 時，膠羽大小對 SVI 影響不明顯。
4. 對不同污泥應都具有 SVI 與絲長與濃度值及膠羽大小間的個別關係。
5. 當 SS 濃度在 700~4800 mg/ℓ，絲長與濃度值在 $10^6 \sim 10^8 \mu\text{m}/\text{mgSS}$ 範圍內，SVI 與 SS 曲線具有下列特性：在中等之總絲長 ($4 \sim 6 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線由上升及下降兩部份組成，然而在較低絲長 ($< 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線僅上升，在高絲長 ($> 8 \times 10^7 \mu\text{m}/\text{mgSS}$)，SVI 曲線僅一直下降。
6. SVI 與污泥層沉降速度有靈敏的關係。

參 考 文 獻

- APHA, (1976) Standard methods for the examination of water and wastewater, 14th edition, American Public Health Association, New York.
- Chao, A. C. & Keinath, T. M. (1979) "Influence of process loading intensity on sludge clarification and thickening characteristics", Water Res., 13, 1213-1223.
- Dick, R. I. & Vesilind, P. A. (1969) "Sludge volume index-what is it?" J. Wat. Pollut. Control Fed., 41, 1285-1291.
- Javaheri, A. R. & Dick, R. I. (1969) "Aggregate size variations during thickening of activated sludge", J. Wat. Pollut. Control Fed., 41, R197-R214.
- Schaffner, M. W. & Pipes, W. O. (1978) "Underflow rate and control of an activated sludge process", J. Wat. Pollut. Control Fed., 50, 20-30.
- Sezgin, M. (1980) "The role of filamentous microorganisms in activated sludge settling", Prog. Wat. Technol., 12, 97-107.
- Sezgin, M., Jenkins, D. & Palm, J. C. (1980) "Floc size, filament length and settling properties of prototype activated sludge plants", Prog. Wat. Technol., 12, 171-182.
- Vesilind, P. A. (1969) "Quiescent batch thickening of activated sludge in small cylinders", Vatten, 4, 456-462.

附註：本文摘譯自 Water Research, Vol. 16, pp. 83-88, 1982, M. Sezgin, "Variation of sludge volume index with activated sludge characteristics"。本文承蒙林正祥與史麗芬兩位同學幫忙整理，謹此致謝。

工業廢水處理技術(四)

李公哲*

十、工業廢水之生物處理

工業廢水之主要成分如為生物易分解 (biodegradable) 之有機物，採用生物處理將最為適當。諸如食品廢水、啤酒廠廢水、紙漿及造紙廢水、製革廢水、紡織廢水及乳品廢水均可加以應用，在正常操作下，其處理效果均佳。本節就廢水生物處理原理及處理程序加以說明，以為業者參考。

(一)廢水生物處理原理

生物處理為目前廢水二級處理最為普遍採用之方法，其主要目的為將廢水中之膠體及溶解性有機物，經由微生物之作用，變為穩定。

過去常將生物分為植物 (plant) 與動物 (animal) 兩界 (Kingdom)，但目前有採用三界之趨勢，即除植物與動物兩界之外，另加一界稱為原生物(protozoa)，所謂微生物(microorganism)，即指微細之生物，非用顯微鏡不能觀察其構造，屬於上述三界之微生物列如表十。

界 別	代 表 性 微 生 物	
動 物	輪 蟲 類 rotifers	
	甲 殼 類 crustaceans	
植 物	苔 蘚 類 mosses	
	蕨 類 ferns	
	種 子 植 物 seed plants	
原 生 物	(1)高 等	藻 類 algae
		原 生 動 類 protozoa
		真 菌 類 fungi
	(2)低 等	粘 黴 類 Slime molds
		藍 綠 藻 類 blue-green algae
		細 菌 bacteria

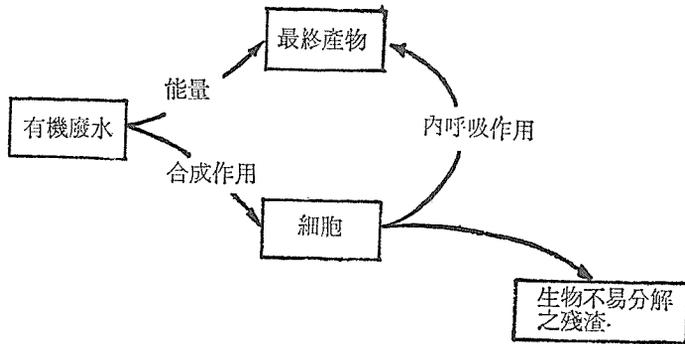
與生物處理有關之微生物主要以原生物為主，其中較高等細胞 (cell) 內含有真核 (true nucleus) 低等者細胞無核膜 (nuclear membrane)，廢水生物處理主要即為利用原生物中之細菌進行新陳代謝作用 (metabolism) 而達有機物穩定之目的。

細菌一方面吸收養分，一方面進行生長與繁殖，細菌有以有機物質為營養者稱異營性 (het-

* 本小組委員
臺大環境工程研究所教授

erotrophic) 細菌，有以無機物為營養者稱自營性 (autotrophic) 細菌，凡以化學物質為營養及能量之來源者稱化學合成 (chemosynthetic) 細菌，也有利用光為能之來源者則稱光合 (photosynthetic) 細菌，惟此種細菌較少。

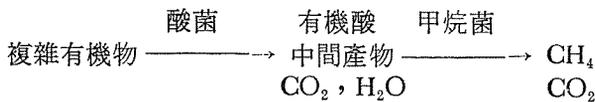
細菌在分解有機物過程中最重要之氧化還原酵素 (enzyme) 反應即為氫之移轉 (hydrogen transfer)，必須要有氫接受物 (hydrogen acceptor) 始克完成，凡細菌以水中自由氧為其最後氫之接受物者稱好氧菌，以含氧之有機物、硫酸鹽、硝酸鹽、亞硝酸鹽、或二氧化碳等為最後氫之接受物者稱厭氧菌，兩者均可利用者，則稱兼性菌。細菌新陳代謝之結果，有機物則氧化，細胞則合成 (synthesis) 如圖二十二所示：



圖二十二 生物氧化作用之機能

由於細菌之能量移轉方式不同，好氧與厭氧之反應機構 (mechanism) 及其最終產物 (end product) 也各不同。好氧分解 (aerobic decomposition) 時需要耗氧，如能完全氧化，則含碳有機物變成 CO_2 , H_2O ，含氮有機物變成 CO_2 , H_2O , NH_3 ，而 NH_3 可進一步氧化為 NO_2^- ，且 NO_2^- 再氧化 NO_3^- 。含硫有機物則氧化為 SO_4^{2-} 等。

厭氧處理係用以分解及破壞有機固體或分解溶解性有機物變成氣體之最終產物 (參見圖二十三)。揮發酸 (volatile acid) 經醱酵 (fermentation) 後成乙酸 (acetic acid)，丙酸 (propionic acid) 及丁酸 (butyric acid)。這些較長鏈的揮發酸則可被特定的甲烷菌分解轉換成甲烷 (methane)、二氧化碳及有較短的碳鏈的二級揮發酸 (second volatile acid)。二級揮發酸再經醱酵後也再變為甲烷及二氧化碳。惟乙酸可直接變成二氧化碳及甲烷。



圖二十三 有機物之厭氧分解

由上可見在厭氧分解 (anaerobic decomposition) 時，其最終產物多為氣體，其中 H_2S ， NH_3 及部分中間產物，有機硫化物等均具臭氣，陳腐污水，污泥之具有臭氣，發黑，冒泡即此之故。

有機物好氧與厭氧分解最大不同之處如表十一所示：

表十一 好氧與厭氧分解之主要差異

項 目	好氧分解	厭氧分解
合 成 作 用	快	慢
產 物 能 量	低	高
能 量 產 生	高	低
主 要 終 產 物	CO ₂	CH ₄

(二) 廢水生物處理程序

廢水生物處理程序可分為好氧性系統 (aerobic processes)、無氧性系統 (anoxic processes)、厭氧性系統 (anaerobic processes) 及好氧/無氧或厭氧系統等四種。每一系統又可分成懸浮生長式處理程序 (suspended-growth treatment processes)，附著生長式處理程序 (attached-growth treatment processes)，或二者之混合式處理程序，現就其分類所涉及之重要處理法列如表十二(1)：

表十二 廢水生物處理程序

型 式	名 稱
1. 好氧性系統 (1) 懸浮生長式 (2) 附著生長式 (3) 混 合 式	a. 活性污泥法及其改良法 (Activated sludge processes) b. 氧化渠 (oxidation ditch) c. 曝氣式氧化塘 (aerated lagoon) d. 好氧性消化槽 (aerobic digestion) e. 藻類氧化塘 (aerobic algae pond) a. 滴濾池 (Trickling filter) b. 旋轉生物盤 (Rotating Biological Contactor) a. 滴濾池+活性污泥法 b. 活性污泥法+滴濾池 c. 活性生物濾床 (activated biofiltration)
2. 無氧性系統 (1) 懸浮生長式 (2) 附著生長式	懸浮生長式解硝反應槽 (Suspended-growth denitrification) 固定膜解硝反應槽 (Fixed-film denitrification)
3. 厭氧性系統 (1) 懸浮生長式 (2) 附著生長式	a. 厭氧消化槽 (anaerobic digestion) b. 厭氧接觸法 (anaerobic contact process) a. 厭氧濾床 (anaerobic filter) b. 厭氧塘 (anaerobic lagoon)

4.好氧式／無氧式或厭氧式

(1)懸浮生長式

(2)附着生長式

(3)混合式

單段式硝化及解硝反應槽 (single-stage nitrification-denitrification)

硝化與解硝反應槽 (nitrification-denitrification)

a. 兼性氧化塘 (facultative pond)

b. 厭氧—兼性氧化塘 (anaerobic-facultative lagoon)

c. 厭氧—兼性—好氧塘 (anaerobic-facultative-aerobic lagoon)

現將上表所列之廢水生物處理法可用在工業廢水之主要程序，分述如下：

(二)懸浮生長式系統

1.活性污泥法及其改良法⁽²⁾

活性污泥法之定義為：一系統在氧之存在下，生長了膠羽狀之微生物，繼續不斷地在系統內迴流，並與有機廢水不斷地接觸。系統內氧之供應係在紊流狀況下，以氣泡注入污泥混合液中，或利用機械，如表面曝氣法等之曝氣設備供應。這些程序包括曝氣及隨後之固體—液體分離 (solid-liquid separation) (即沉澱)。後者並使分離之沉泥迴流至曝氣槽之混合液中與進流廢水接觸。曝氣時包括幾個步驟：(1)首先由於活性污泥之快速吸附作用 (adsorption)，可使懸浮膠體及溶解之有機物形成膠羽狀。(2)吸附之有機物，繼續不斷地氧化及合成，俾使有機物由溶液中去除。(3)進一步的曝氣，可使污泥繼續氧化及分散。

各種不同之活性污泥處理過程中，以家庭污水而言，其 BOD 之主要部份係以懸浮及膠體形態存在，故於極短的時間內懸浮性 BOD 膠凝聚絮，而膠體性 BOD 即被吸附。以傳統式活性污泥法處理時，這些懸浮性、膠體性及溶解性 BOD 可於 4 至 6 小時內被除去。欲維持污泥之好氧活性，曝氣槽中之溶解氧至少應達 $0.5 \text{ mg}/\ell$ 。如欲完成硝化作用 (即微生物之氧化作用使氮變成硝酸鹽)，則停留時間必須延長足使硝化菌能生長。欲使消化菌達最大之活性，則曝氣槽中須有較高之溶氧 (大於 $2.0 \text{ mg}/\ell$)。經過硝化作用後，溶解氧可容許達於零，活性污泥中之微生物，將使硝酸鹽變成氮氣，即解硝作用。

現就目前一般採用之活性污泥及其改良法 (modification) 分述如下：

(1)傳統式活性污泥法

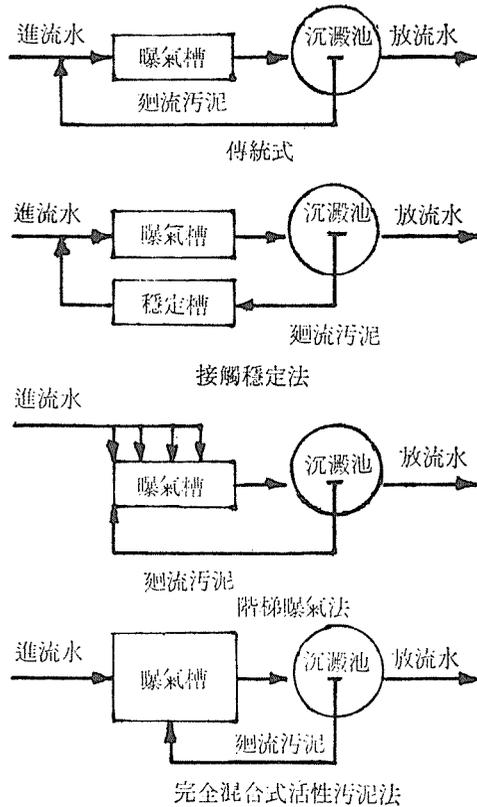
傳統式活性污泥法之處理程序包括以下四項不同功能之設備：(1)初步沉澱以除去廢水中可沉降之有機及無機固體。(2)將廢水和活性污泥之混合物曝氣。(3)用沉澱法將活性污泥從已處理液中分開。(4)迴流之沉降生物污泥使與進流原廢水混合 (見圖二十四)。

傳統式活性污泥法之操作可以下列二種方式之一進行：

①線性流型 (plug-flow-type) 系統：廢水與迴流污泥 (return sludge) 在曝氣槽之前端混合。線性流型之改良為使混合後廢水經過曝氣槽 (aeration tank) 有著縱間混合。這種型式如圖二十四所示。

②完全混合型系統：現在很多污水處理廠之建造原理均基完全混合原理。在此情形下，迴流污泥和廢水分別進入曝氣槽而在槽中得以完全混合，其優點為減小突增與洪峯濃度，及調勻進流廢水之水量水質變化。

於完全混合系統中，在曝氣槽之任何部份，其攝氣速率均是相同的，故設置之曝氣設備必須等距。



圖二十四 活性污泥處理程序

(2)接觸穩定法：

廢水若與曝氣良好之活性污泥接觸，經生物吸附作用 (biosorption)，即可除去大量之 BOD，則可採用接觸穩定法（見圖二十四）。這種處理方法係使廢水與穩定之污泥接觸30至60分鐘，混合液中之污泥經沉澱槽分開後流入穩定槽 (stabilization tank)，除繼續曝氣而使氧化完全外，並使污泥與新進流廢水接觸以去除 BOD。若 BOD 之除去率太低，以致於短時間內不能達到所欲之總去除率時，則應延長接觸時間以達到需求。初期之去除率係視污泥及廢水之特性而定。這種處理最適用於城鎮污水，因其含有大量以懸浮狀態存在之 BOD。

(3)階梯曝氣法

階梯曝氣法 (step aeration) 係以經初步沉澱池之出水，沿着曝氣槽，分由數處進入與混合液混合，以平衡有機負荷及需氧率。迴流污泥由曝氣槽前端進入，而初步沉澱池出水則藉著隔流牆分由數處加入於曝氣設備旁（見圖二十四）。曝氣停留時間一般為 2 至 4 小時。迴流污泥率經常保持於平均污水流量之百分之 25 至 35。操作結果與傳統式活性污泥法相近。階梯曝氣法一般可視為介於傳統式之線性流型與完全混合型活性污泥法之間。

(4)延長曝氣法

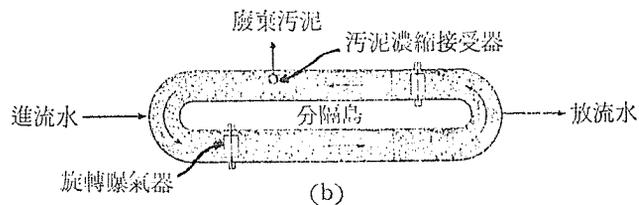
延長曝氣式處理之理論依據為：提供足夠之時間，使經合成作用產生之污泥，其中易分解之

部份完全氧化。理論上講，此種處理產生過剩污泥，係由經過完全氧化後生物不易分解之殘渣。過剩污泥之排除如係由曝氣槽以排出混合液方式加以達成，則實際過剩污泥之排除量常為實際殘渣之兩倍。延長曝氣法現已廣泛地用於處理小型社區之家庭污水，娛樂區污水及水量小於每日二百萬加侖之工業廢水。

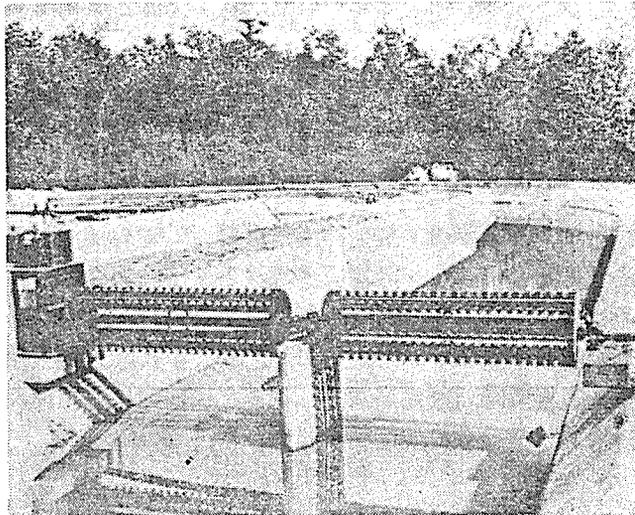
2. 氧化渠

本法最先使用在荷蘭的一些小鎮，後來漸漸推廣至歐洲其他國家及美國。氧化渠如圖二十五所示，其組成為約 1 公尺深之環形渠，設有旋轉式曝氣器 (aeration rotor)，使渠內之廢水產生曝氣和流動作用，廢水流速約在 0.3 至 0.6 m/sec 之間，圖二十五所示為一間歇操作式氧化渠，另有改良的連續式氧化渠⁽¹⁾。圖二十六所示為一典型之旋轉式曝氣器⁽²⁾。

1950年代，Pasveer 鑑於傳統式氧化渠佔地面積過大，特發展出深型氧化溝，稱為 Carrousel，深度可 3 公尺以上，可節省所需工地面積。



圖二十五 間歇操作式氧化溝



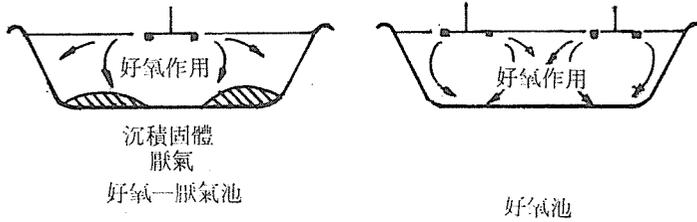
圖二十六 典型之旋轉式曝氣器

3. 曝氣式氧化塘

曝氣式氧化塘池深為 6 至 12 呎 (1.8 至 3.6 公尺)，氧之輸送除靠機械或散氣裝置曝氣外，部份並由產生之表面曝氣而達成。曝氣式氧化塘分為兩種類型：其一為好氧池，使所有固體均呈懸浮狀。其二為好氧-厭氧池，係池內保持紊流狀態，使氧氣得以輸入，但不足於使所有固體均呈懸浮狀。

好氧池內由於固體粒子呈懸浮狀，故放流之懸浮固體即等於池內之固體，所以須有污泥分離沉澱及處理裝置。好氧池可視為活性污泥法之改良，是一種非常實用處理法。

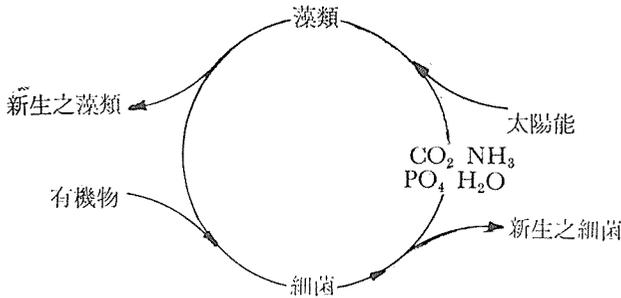
在好氧-厭氧池內，較大懸浮固體及不易氧化之生物固體部份均沉於池底，進行厭氧分解。也可增設分開之沉澱池，將可改善放流水質。曝氣式氧化塘之主要型式如圖二十七所示。



圖二十七 曝氣式氧化塘型式

4. 藻類氧化塘

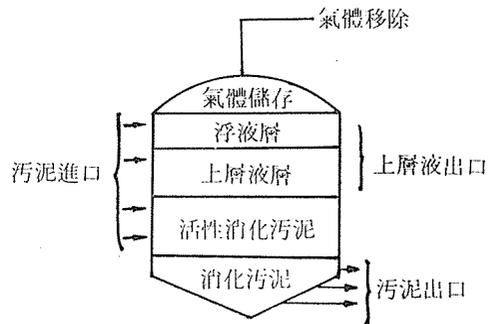
此藻類氧化塘乃利用藻類和細菌構成一循環共生關係 (Cyclic-symbiotic relationship) 如圖二十八所示。藻類行光合作用放出氧供細菌利用，而細菌放出 CO_2 和營養分供藻類利用，同時靠藻類產生足夠的氧供應 BOD 之需氧量。因陽光對於藻類之生長深具影響，故池塘深度一般限制為 6 至 18 吋 (15 至 45 公分)。藻類氧化塘最大負荷可為 100 至 300 磅-BOD_u/畝/日 (112 至 336/公斤-BOD_u/公頃/日)。每天必需攪拌藻類氧化塘數小時，以維持整個塘內呈好氧狀況。



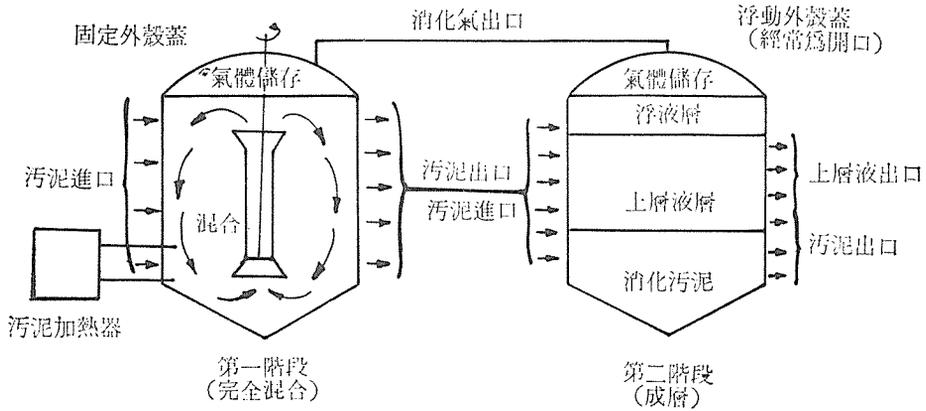
圖二十八 藻類和細菌的循環共生關係圖

5. 厭氧消化槽

一般厭氧消化目的在減少污泥的體積，同時將污泥中之有機物，分解為較穩定之有機物及無機物，並放出二氧化碳 (CO_2) 及甲烷 (CH_4) 氣體，污泥消化後，利於脫水。厭氧消化槽通常分成單段式傳統消化及二段式高率消化分如圖二十九及三十所示。



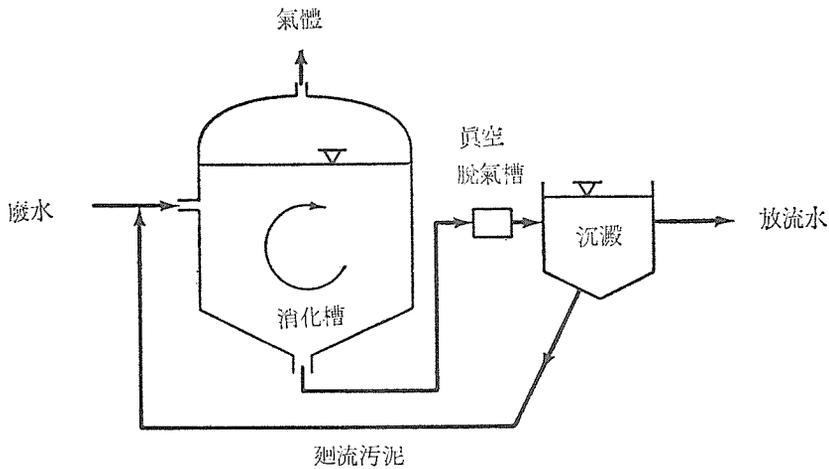
圖二十九 單一階段傳統式消化過程示意圖



圖三十 二階段消化過程示意圖

6. 厭氧接觸法

厭氧接觸法（如圖三十一）甚合適用來處理高有機濃度之有機性工業廢水。由圖三十一可知，此法甚接近於活性污泥法。從厭氣反應槽內流出來的放流水先經一個真空脫氣槽（degasifier），然後再經由一沉澱池固液分離後，沉下之污泥再回流至原來之厭氧反應槽內。此法用在啤酒廠水及肉類魚類廢水等之處理，已獲相當大的成功⁽⁴⁾⁽⁵⁾。



圖三十一 厭 氧 接 觸 法

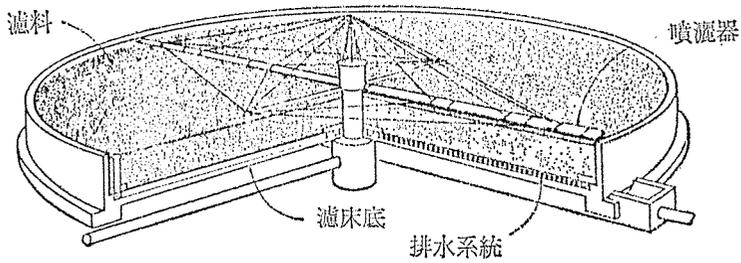
四 附著生長式系統

1. 滴濾池

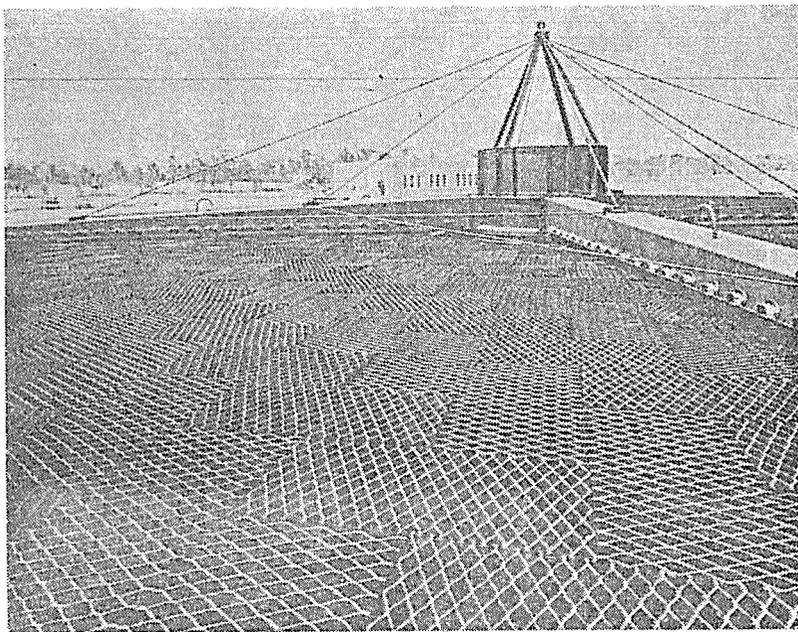
池中填置之滴濾濾料通常為2½至4吋（5.5至10公分）之石子，池深3至8呎（1至2.5公尺）。近年來採用塑膠滴濾濾料（比表面積20至35平方呎/平方呎），池深可達40呎（12公尺）。處理含碳有機廢水，BOD可由生物膜去除，為避免濾池之阻塞（plugging）及圍水（ponding），建議採用之最高塑膠滴濾料表面積值為30平方呎/立方呎。圖三十三所示為一塑膠濾料滴濾

池⁽³⁾。

滴濾池係於池中裝滿滴濾濾料 (media)，滴濾濾料表面覆蓋着一層生物膜 (slime)，廢水由此滴濾通過。氧氣與有機物靠擴散作用進入生物膜，氧化合成作用在此進行。相反地，最終產物 (二氧化碳、硝酸鹽等) 則擴散進入通過之廢水，隨著滴濾池之放流水而流出。滴濾池之全貌如圖三十二所示。



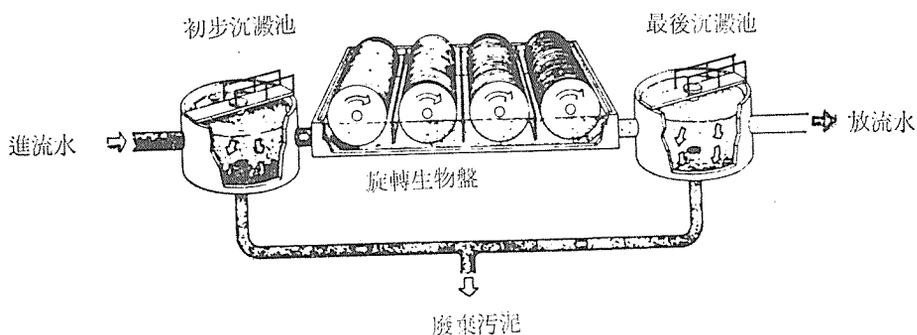
圖三十二 滴濾池的剖面圖



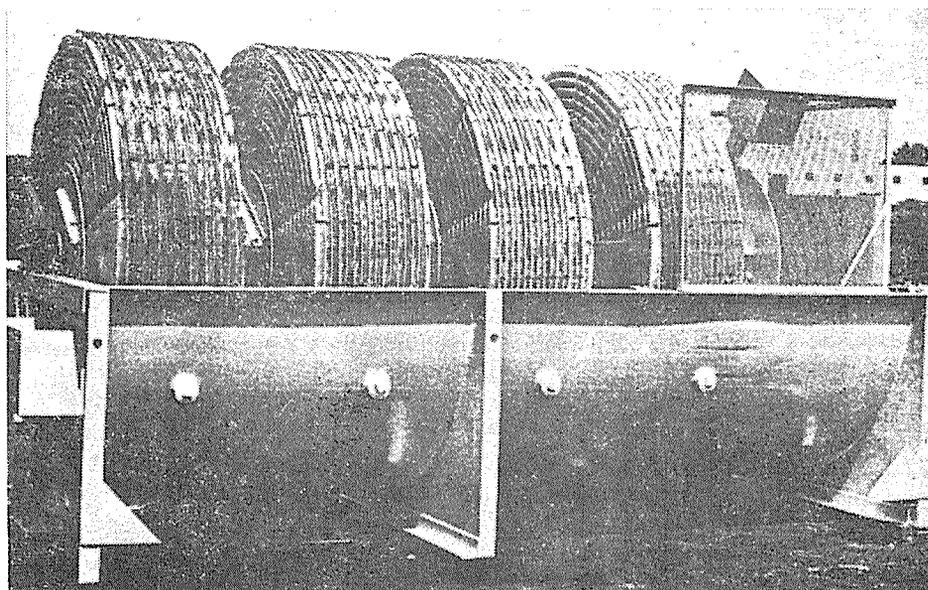
圖三十三 典型之塑膠濾料沉澱池

2. 旋轉生物盤

旋轉生物盤法 (簡稱 RBC) 為利用附著於圓板上好氧性微生物羣以去除有機性廢水中之有機物。通常旋轉生物盤為一連串圓盤分成數段，其直徑之 40—70% 浸於接觸槽的水中，這些微生物羣隨著圓盤的旋轉，自空氣中吸收氧而好氧分解廢水中之有機物。通常在旋轉生物盤後接一沉澱池，以分離自圓板表面脫落之微生物膜。典型之旋轉生物盤如圖三十四所示⁽⁴⁾⁽⁵⁾。



(a) 旋轉生物盤法處理廠



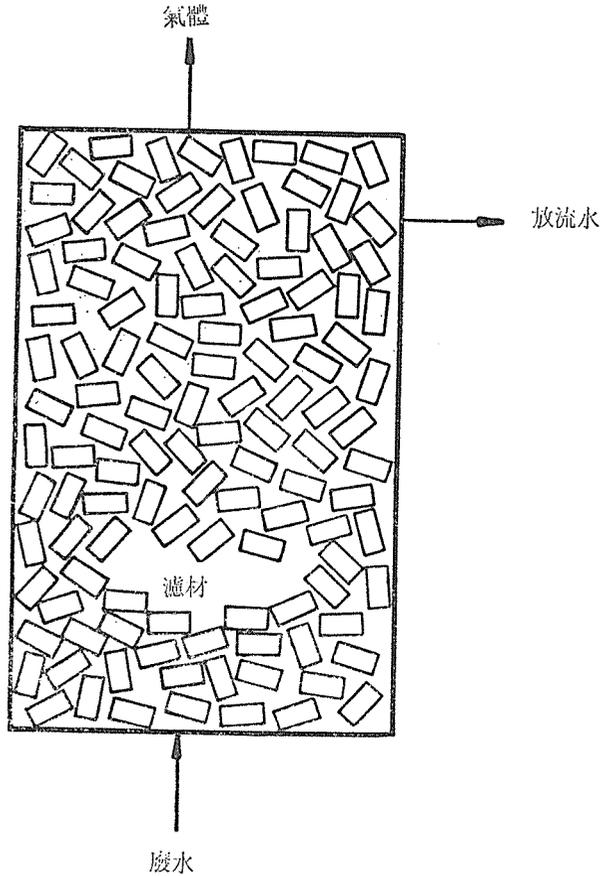
(b) 典型之旋轉生物盤

圖三十四 旋轉生物盤法

3. 厭氧濾床

厭氧濾床目前也被認為處理高或低強度有機性工業廢水最有效方法之一。

厭氧濾床通常為上向流 (upflow)，而濾床內填有碎石或合成材料，好氧性微生物就附著生長在濾料上。此法之優點為主要產生之氣體係在濾床底部。當氣體由底部上升時，也可造成濾床內之混合，將可避免濾床底部PH過低。厭氧濾床之示意圖如圖三十五所示⁽⁶⁾。

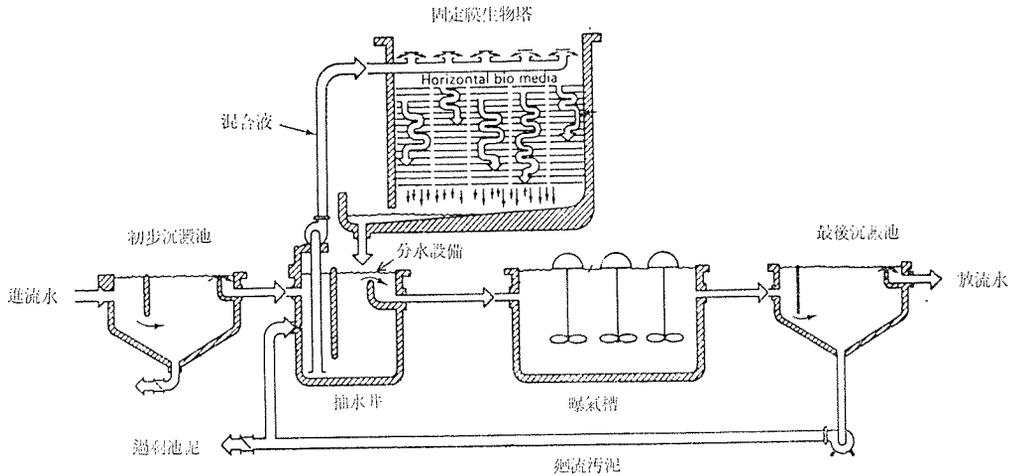


圖三十五 厭氧濾池

(四) 混合生長式系統

這個系統包括有滴濾池後接著一個活性污泥法，或活性污泥法後接著一個滴濾法。然目前正發展中，且對家庭污水及多項有機性工業廢水（如食品廢水）之處理已獲致相當成功之另一方法稱為活性生物濾床⁽⁴⁾（如圖三十六所示）。

活性生物濾床係結合一個附著生長式之固定膜生物塔（fixed-film bio-cell）與迴流通過生物塔中濾材之活性污泥系統。如圖三十六所示，活性污泥曝氣槽停留時間約1個小時，紅木（redwood）組成生物塔之濾料高度約14英尺。此法具操作穩定及節省土地面積之優點，且可將生物塔添加在已有之活性污泥法曝氣槽之前，可提高改善已有廠之處理效果。



圖三十六 活性生物濾床

(四) 廢水生物處理之影響因素

常用廢水生物處理之是否有效與操作之環境因素有關，重要之影響因素有：

1. 溫度：由於微生物生長之最適溫度範圍不同，一般可將微生物分為三類（表十三）

表十三 以溫度為準之微生物分類

類 別	生長範圍°C	最佳範圍°C
嗜 冷 性	— 2—30	12—18
嗜 溫 性	20—45	25—40
嗜 熱 性	45—75	55—65

生物在其生長之溫度範圍內，溫度愈高，新陳代謝作用愈快，大約每增高 10°C，作用速率即增大一倍，一般應用於廢水處理之細菌多屬於嗜溫性。

2. pH 值：除少數微生物外，大都均在 pH6 至 8 之範圍內生長最好，pH 過高或過低均影響微生物酵素之電離，變性，或基質之離解。

3. 有機物之本質：有些有機物可為微生物所分解，有些則否，生物可分解者，其分解之程度與速率也視有機物之性質而異。

4. 毒物質質：廢水如含有對微生物有毒之性質，則微生物無法生長而影響生物處理之效果，此等毒物質質如有機之酚，抗生素、酮、醛、季銨化合物等，無機之重金屬、鹵素及鹽類等。

5. 氫接受物：氫之最終接受物在好氧時為自由氧，在厭氧時有 NO_3^- 、 NO_2^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 及

有機物等，如缺少此等物質則廢水無法完全穩定分解。

6. 養分：微生物細胞各有其一定之化學組成

好氧菌	$C_5H_7O_2N$
厭氧菌	$C_5H_9O_3N$
原生動物	$C_7H_{14}C_{3n}N$
藻類	$C_5H_8O_2N$
黴菌	$C_{10}H_{17}O_6N$
酵母菌	$C_{13}H_{20}O_7N_2$

工業廢水中之活性污泥 $C_{118}H_{170}O_{51}N_{17}P$ 由上知微生物細胞中，除其構成元素 CHO 外，尚有 N,P,S 及其他微量元素 Na,K,Ca,Mg,Fe……等一般廢水中微量元素不致缺少，而 N,P 則常為某些工業廢水生物處理之阻制因子 (limiting factor) 必須加以補充，否則影響處理之效果。

7. 其他：如方法之選擇，處理及控制設備有機及水力負荷，微生物濃度，適應之微生物以及管理，操作與維護等均為廢水生物處理之重要影響因子。

十一、化學處理與生物處理之比較

工業廢水種類繁多，性質各異，採化學或生物處理，各有利弊，現舉如下表所示：

項 目	化 學 處 理	生 物 處 理
出水穩定性	好	稍 差
污泥	較難處置	較 易
操作控制	易	難
操作費用	高	低
腐蝕性、刺激性	大	小
藥品貯存	必需	無 需
處理所需時間	快	慢
前處理之需要	不一定	必 須
負荷之變化	易適應	不 易

十二、工業廢水處理技術之應用⁽²⁾

(一) 紙漿及造紙廢水

紙漿及造紙工廠可視原料處理方法之不同而有不同之操作程序。紙漿工廠製造程序包括木材處理，製漿 (pulping)、篩選、清洗、壓縮及漂白。造紙廠之操作程序包括原料處理、抄紙機操作、調整 (converting) 及整理 (finishing) 等程序。

幾乎製漿及造紙之每個程序均可產生廢水，而其廢水之主要來源為製漿、漂白及造紙諸過程。廢水中含有懸浮固體 (紙漿及纖維)，而由蒸解液，木材中之糖份產生 BOD，由黑液及備料室所加化學品產生顏色。

紙漿及造紙廢水處理一般可分為初步及二級處理。懸浮固體 (紙漿及纖維) 由沉澱或浮除法

除去（某些情形下需加助凝劑）。生物處理法可用活性污泥法或污水塘（曝氣或不予曝氣）處理。惟需加入氮及磷等養分。生物處理並不能除去細微之懸浮固體及顏色。紙漿廢水處理所產生之污泥可用離心法（centrifugation）或真空過濾法（vacuum filtration）脫水。目前使用中之各種不同廢水處理法之處理效率如表十四所示。

表十四 紙漿廢水處理去除率

	SS, %	BOD, %	COD, %	色度%
沉澱	60-90	10-40	10-30	<10
溶氣浮除法	70-95	20-50	10-40	<10
穩定池	<90	30-50	—	<10
曝氣式氧化塘	—	40-85	30-60	<30
活性污泥法	70-98	<95	<70	<30

(二)紡織廢水

紡織業可由產品之不同而分成主要之三類，即羊毛紡織與加工，棉紡織與加工與合成紡織與加工。紡織與加工一般分為四個主要的程序：(1)去污（scouring）(2)染色（dyeing）及（或）印花（printing）(3)漂白(4)特殊整理。

紡織廢水之水量與水質與纖維之種類及操作之方法之不同而不同。較進步之技術包括逆水流連續清洗，較佳之油脂回收，並以污染性較低之化學藥劑取代污染性較大者。

紡織廢水之處理方法通常為生物處理，其前處理包括中和，油脂之去除及其他。不同之處理方法及平均之去除率如表十五所示。

表十五 廢水處理程序及效率^a

（減少百分比，%）

處 理 程 序	BOD	色 度	鹼 度	SS
沉 澱	30-50 ^b 5-15 ^{c,d}	10-50 ^b —	10-20 ^b —	50-65 ^b 15-60 ^{c,d}
化 學 處 理	20-85 ^{b,c}	<75 ^b	—	—
混 凝	25-60 ^c	—	—	<90 ^c
污 水 塘	<85 ^b <80 ^c	<30 ^b —	<20 ^b —	<70 ^b <80 ^c
曝 氣 式 氧 化 塘	— <95 ^{c,d}	—	—	<95 ^{c,d}
活 性 污 泥 法	<90 ^b <95 ^{c,d}	<30 ^b —	<30 ^b —	<95 ^b <95 ^{c,d}

a 表內數字代表減少百分比（%）

b 羊毛加工

c 棉毛加工

d 合成纖維

e 硫酸+明礬或硫酸+氯化亞鐵或以酸分解經離心或蒸發後回收之回收 NaOH

(三) 罐頭食品廢水

製造過程產生之廢水量及水質視原料之種類、製品水力輸送之範圍、製造用水循環使用之情形及廠內固體廢物之排除方式而定。熱鹼去皮、分類切片、罐頭之清洗及冷卻及清洗工廠均會產生大量之污染物。

目前超過百分之六十的罐頭食品廢水均排入都市下水道系統中（以美國而言）。由於罐頭食品廢水易於被生物分解，故適於以生物處理，不過在某些情況下，補充的養分（如氮及磷）必須加入。目前主要遭遇的問題是許多罐頭工廠有其季節性變化，以及大塊物質之排放，前者造成廢水處理廠的超負荷，後者造成處理之困難。減少上二者問題之辦法是儘可能廠內用水再用及適當前處理（pretreatment），即篩濾或濃廢水之調勻。

郊區罐頭食品廢水處理的最普通之方法為污水塘（lagooning）及灑灌法（spray irrigation）。若用厭氧塘（anaerobic lagoon）處理則須加入硝酸鈉以控制臭味。

若土地面積許可，則可用灑灌法，此法主要的限制是灑灌地區土壤吸收能力之好壞，灑灌量由40至250加侖／分／英畝（0.0339至0.295公升／分鐘／平方公尺）不等。

罐頭食品廢水之生物處理固屬可行，但往往因為罐頭種類之季節性變化而使生物處理效果極為不佳。一般均採用曝氣式氧化塘（aerated lagoon）來處理。不同處理方法之效果如表十六所示。

表十六 罐頭食品廢水處理效率

方 法	污 染 減 少 %		
	流量/地面水	BOD/地面水	SS/地面水
篩 除 20—40 號	0	0-10	56-80
沉 澱	0	10-30	50-80
浮 除	0	10-30	50-80
化 學 沉 降	0	39-89	70-90
化 學 氧 化	—	—	—
活 性 污 泥	0	59-97	90-95
滴 濾	0	36-99	85-90
厭 氧 醱	0	40-95	—
污 水 塘	0-50	83-99	50-99
灑 灌	50-100	100	100
砂 濾	50-100	15-85	100

(四) 製革廢水

由鞣革產生之廢水含有石灰及硫化物，pH 很高，BOD 及懸浮固體亦高，鉻鞣革則有三價鉻之產生。

據估計，不久的將來，美國國內之製革廢水將有百分之八十被排入都市下水道中，但製革廠應先將廢水中之毛髮，油脂，及雜物除去以免阻塞下水道。有時廢水中之硫化物會造成混凝土管頂部之腐蝕。皮革廢水之高精度處理效果仍屬可能，但若製革廢水量佔都市家庭污水量之大部份

，則需考慮先予調和，以免過高 pH，鉻、及硫化物之含量，造成突增負荷，並妨礙了都市污水二級處理廠之處理功能。

製革廢水單獨處理時，因處理方法之不同，放流水水質亦不同，其處理效率如表十七所示。

表十七 製革廢水處理效率

程 序	序	去 除 率 %		
		BOD	SS	硫 化 物
篩	除	—	5-10	—
沉	澱	25-62	69-96	5-20
混	凝	41-70	70-97	14-50
污 水	塘	70	80	—
活 性 污 泥 法	法	85-95	80-95	75-100

(五)煉油廢水

使用重力式油水分離器為煉油工業廢水處理之第一步，第二步則常用空氣浮除法，可加或不加化學混凝劑。生物處理法有活性污泥法、滴濾法、曝氣式氧化塘或氧化塘 (oxidation pond) 法等，可用於處理油水、酸水及廢鹼水，但需先除去油類及限制廢水中硫化物、硫醇及酚類之濃度。

生物處理法處理前若裝設酸水提除器可去除硫化物。如溫度及 pH 值適宜，廢水中之酚類及氰化物 (cyanide) 等也可被提除。各種處理法之處理效果如表十八所示。

十八 煉油廢水處理效率^a

	MPPI ^b	BOD	COD	酚 類	硫 化 物	懸浮固體
物 理 處 理 法						
API 分 離 器	R.W.	5-35 ^c	5-30 ^c	稍 減	無	10-50
Earthen 分 離 器	R.W.	5-50	5-40	稍 減	無	10-85
不加化學藥劑之空氣浮除法	API eff.	5-25	5-20	無	稍 減	10-40
化 學 處 理 法						
不加化學藥劑之空氣浮除法	API eff.	10-60	10-50	無	稍 減	50-90
化 學 混 凝 及 沉 降	API eff.	10-70	10-50	無	無	50-90
生 物 處 理 法						
活 性 污 泥 法	API eff.	70-95	30-70	55-99	90-99	60-85
曝 氣 式 氧 化 塘	API eff.	50-90	25-60	65-99	90-99	0-40
滴 濾 池	API eff.	50-90	25-60	65-99	80-99	60-85
氧 化 塘	API eff.	40-80	20-50	65-99	70-90	20-70
三 級 處 理 法						
活 性 炭	SEC. ^d eff.	50-90	50-90	80-99	80-99	無
臭 氧	SEC. eff.	50-90	50-90	80-99	80-99	無

a 表中數字代表去除百分率 (%)

c 不包括自分離出之油產生之 BOD 及 COD

b MPPI (最可能之程序入流水) 表示預先處理之種類及程度 d 化學或生物處理

(六)煉鋼廠廢水

鼓風爐及軋鋼廠廢水中之懸浮固體可藉沉澱除去之。去除率（放流水之懸浮固體量少於 50 mg/l）可經加助凝劑而提高之。混凝及沉澱或浮除用以去除乳化油及自由油。酚及氰化物可由生物氧化法分解之。電鍍廢水可以離子交換或氧化還原沉降法處理之。濃度高之廢水可注入深井中。廢酸液若不加以再生則中和後排放之。不同之處理程序及一般之去除率如表十九所示。

表十九 煉鋼廠廢水處理一般去除率

程 序	去 除 百 分 比	
	懸 浮 固 體	潤 滑 油
沉 澱	90-94	20
混 凝	95-98	80
迴 流 及 沉 澱	96-98	60
迴 流 及 混 凝	98-99	90
磁 性 分 離 器	80	

十三、結 語

工業廢水處理技術之應用，可分成兩個層次，即首先應考慮「廠內改善」(In-plant Modification)，尋求從污染源減少污水量及污染物，甚至水再用 (water reuse) 之可行性，然後才考慮「管末處理」(End-of-Modification)，即廢水處理之必要性，才能達到一個真正經濟且有效 (cost effective) 的工業廢水污染防治計劃。

參 考 資 料

1. Metcalf & Eddy, Inc., "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal & Reuse", McGraw-Hill, 1979.
2. 李公哲譯「水質工程學」中國工程師學會，民國69年
3. J. W. Clark, W. Viessman, Jr., & Mark J. Hammer "Water Supply and Pollution Control" 3rd Edition, IEP-A Dun-Donnelley Publisher, 1977
4. L. D. Benefield & C. W. Randall, "Biological Process Design for Wastewater Treatment" Prentice-Hall, Inc. 1980.
5. U. S. EPA "Environmental Pollution Control Alternatives: Municipal Wastewater" EPA-625/5-76-012.
6. W. W. Echenfelder, Jr., "Principles of Water Quality Management," CBI Publishing, 1980.

廢水處理廠操作管理 (一)

——活性污泥系統(1)

歐陽 嶠 暉*

一、前 言

臺灣地區近年來配合政府有關水污染防治措施，設置廢水處理設備之事業機構漸多，但廢水之處理設施除需有完整的設計施工，更需有正確的操作管理，始能達到預期的處理效果，中國土木工程學會水污染防治研究會及本小組，有鑒於此，擬編訂操作手冊以提供現場工作者參考，囑由筆者執筆，預計在本年內完成初稿，在執筆過程中，將就較重要章節摘要分次在本刊發表，以就教於諸先進及現場工作者，敬請各界不吝惠予指正並提供實際操作管理心得，使本手冊更能達到實用化之目的，是所至盼。

二、活性污泥法之原理

活性污泥系統如圖一，為經最初沉澱池處理後的廢水，流入曝氣槽與槽內呈流動狀的好氧性微生物羣之污泥相接觸後之流出水，於最終沉澱池沉澱分離之，沉澱分離後之污泥，一部份連續迴流至曝氣槽，另一部份成爲剩餘污泥排出另行處理之。依以上之定義可知活性污泥系統必具備下列條件：

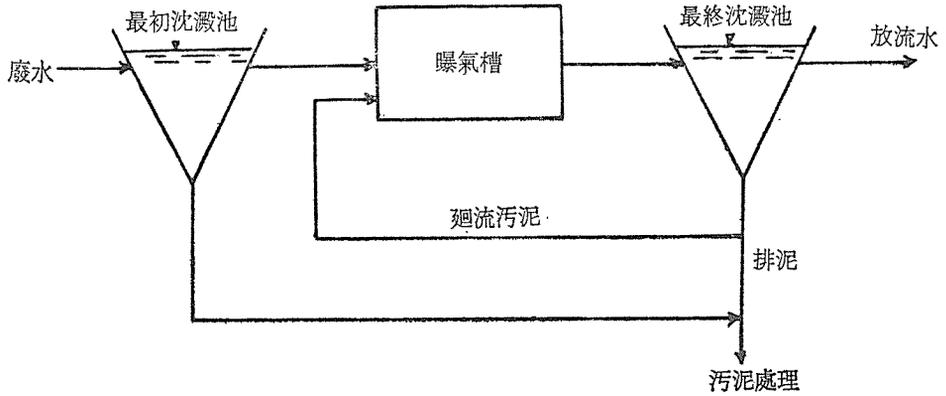
- (1)曝氣槽內污泥負荷要維持一定。
- (2)維持一定值以上的溶氧量。
- (3)最終沉澱池分離出之污泥應濃縮至比曝氣槽活性污泥濃度還高。
- (4)爲維持曝氣槽內污泥濃度一定，應連續迴流污泥至曝氣槽。
- (5)去除 SS、分解 BOD 所增殖之微生物，爲維持一定污泥齡，應予以排出處理。

活性污泥系統之操作管理，即爲控制上述最有利之環境條件，以達到良好的處理效果爲目的。

一、廢水處理過程中微生物的變化

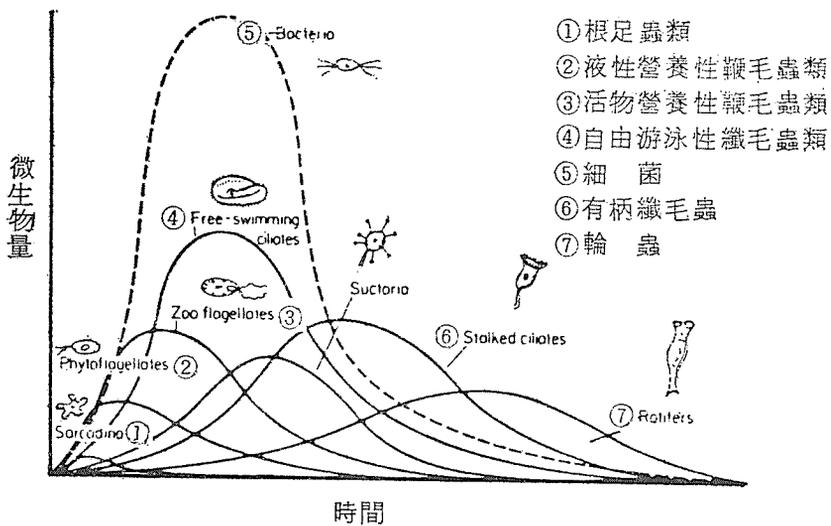
活性污泥爲由(1)細菌類(2)真菌類(3)原生動物及(4)後生動物等異種個體羣微生物所構成之混合培養體。在處理上最初擔任重要角色的爲分解、同化有機物之他營養性細菌及液狀死物營養性之真菌類，此等爲最低之營養階段，其次被活物營養性之原生物所捕食，再則被輪蟲及圓蟲類之後生動物之二次捕食者所捕食，而達到淨化，其關係可以圖二表示之。

* 本小組委員
國立中央大學土木工程研究所所長兼教授



圖一、活性污泥系統

依據 Pipes, Van Gils 等研究結果，活性污泥中主要的細菌為 *Achromobacter*、*Flavobacterium*、*Alcaligenes*、*Bacillus*、*Micrococcus*、*Pseudomonas*。



圖二、活性污泥中微生物之變化

Curds 及 Cockburn 於一九七〇年在英國56個處理廠調查結果，所出現的纖毛蟲類推定共有六十七種，尤以綠毛類較多，又有機負荷高時，有無色微小鞭毛蟲出現，而處理水之 BOD 及 SS 較高。又 BOD 負荷 $0.2 \sim 0.3 \text{ kg-BOD/kg-MLSS} \cdot \text{日}$ 時，原生動物的種類偏多，隨着負荷增高種類減少。

活性污泥生物相的構成，依某兩個二級處理廠一年間之平均值表示如表一生物數為30分鐘沉澱 MLSS 1 ml 個數。

表一、活性污泥生物相的組成

生 物 種 類	生 物 數		同 左 百 分 比	
	A	B	A	B
原 生 動 物	78,720	51,931	99.2	98.5
後 生 動 物	108	345	0.1	0.7
植 物	570	443	0.7	0.8
以 上 之 主 要 內 涵				
纖 毛 蟲 類	3,893	1,973	49.1	36.4
根 足 蟲 類	39,268	31,282	49.5	59.3
鞭 毛 蟲 類	79	0.1	1,078	2.1
線 蟲 類	20	0.03	5	—
腹 毛 類	—	175	—	0.3
輪 蟲 類	88	155	0.11	0.3
貧 毛 類	—	10	—	—
藍 藻 類	101	78	0.11	0.14
矽 藻 類	428	321	0.5	0.6
綠 藻 類	41	44	0.05	0.08

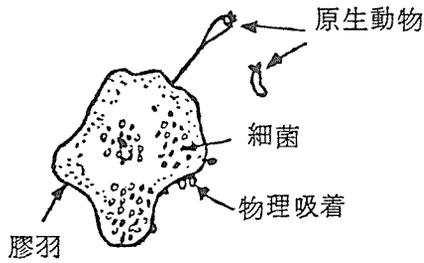
二、活性污泥的成熟

活性污泥生物可分為三類，在正常操作狀態，活性污泥生物相的構成，以纖毛蟲類為指標，示如表二。

表二、活性污泥的生態分類及量的組成

種 類	性 質	指標生物類名	指 標 生 物 例	量組成 (%)
非活性污泥性生物	自由游泳型	非活性污泥性纖毛蟲	<i>Colpidum Dexiotrichides</i> 等	0.14
中間污泥性生物	自由游泳及匍匐兩性型	中間污泥性纖毛蟲	<i>Lionotus Loxophyllum Oxytricha</i> 等	16.88
活性污泥性生物	匍匐型、着生型	活性污泥性纖毛蟲	<i>Aspidisca Vorticella Opercularia Epystilis</i> 等	82.98

非活性污泥性生物，以攝取水中呈自由狀之懸浮有機物，活性污泥性生物以去除活性污泥膠羽所吸着的污染物質，至於中間污泥性生物則具有兩種之性質。活性污泥之周圍及其組成示如圖三。



細菌群 $10^7 \sim 10^8$ 個/ $m\ell$

15~30 類

無生物 膠羽部份為粘着性有機物

原生動物 10^5 個/ $m\ell$

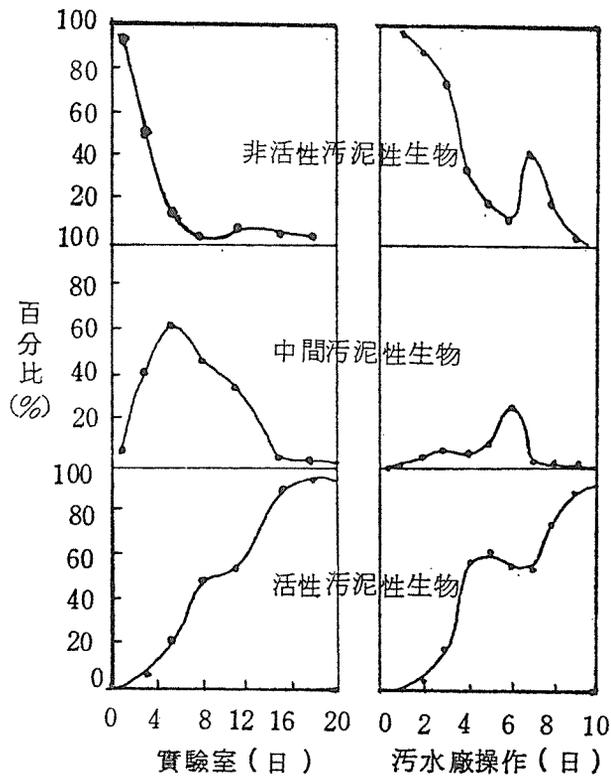
圖三、活性污泥之周圍及其組成

活性污泥的生成可分為活性污泥膠羽的形成及活性污泥生物相的完成兩階段。

(1) 活性污泥膠羽的形成

大多數活性污泥膠羽藉 *Zooglea* 的生長而形成。 *Zooglea* 的生長以吸收營養為主體，溶解性營養物質多時，生長速度快，營養多時膠羽量增量也大。

(2) 活性污泥的成熟過程

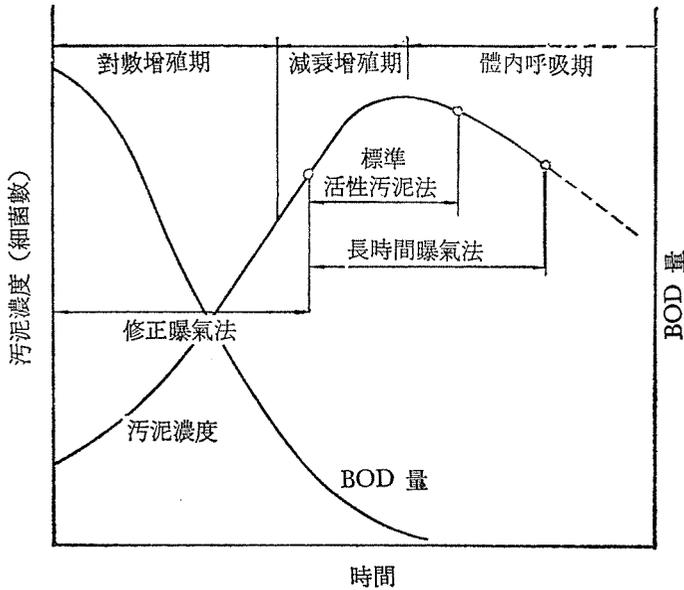


圖四、活性污泥成熟過程

為自非活性污泥性生物，經中間污泥性生物，最後成為活性污泥性生物。實驗室及實際處理廠操作，以纖毛蟲類為指標，其變化狀況如圖四。

三、微生物之增殖過程

活性污泥之去除有機物，藉吸着、氧化及同化之順序進行以達成之。為獲得良好的處理水，以使活性污泥具有良好的凝聚性及沉降性最為重要，活性污泥之特性依微生物之成長期而異，微生物之增殖過程示如圖五所示。



圖五、微生物之增殖過程

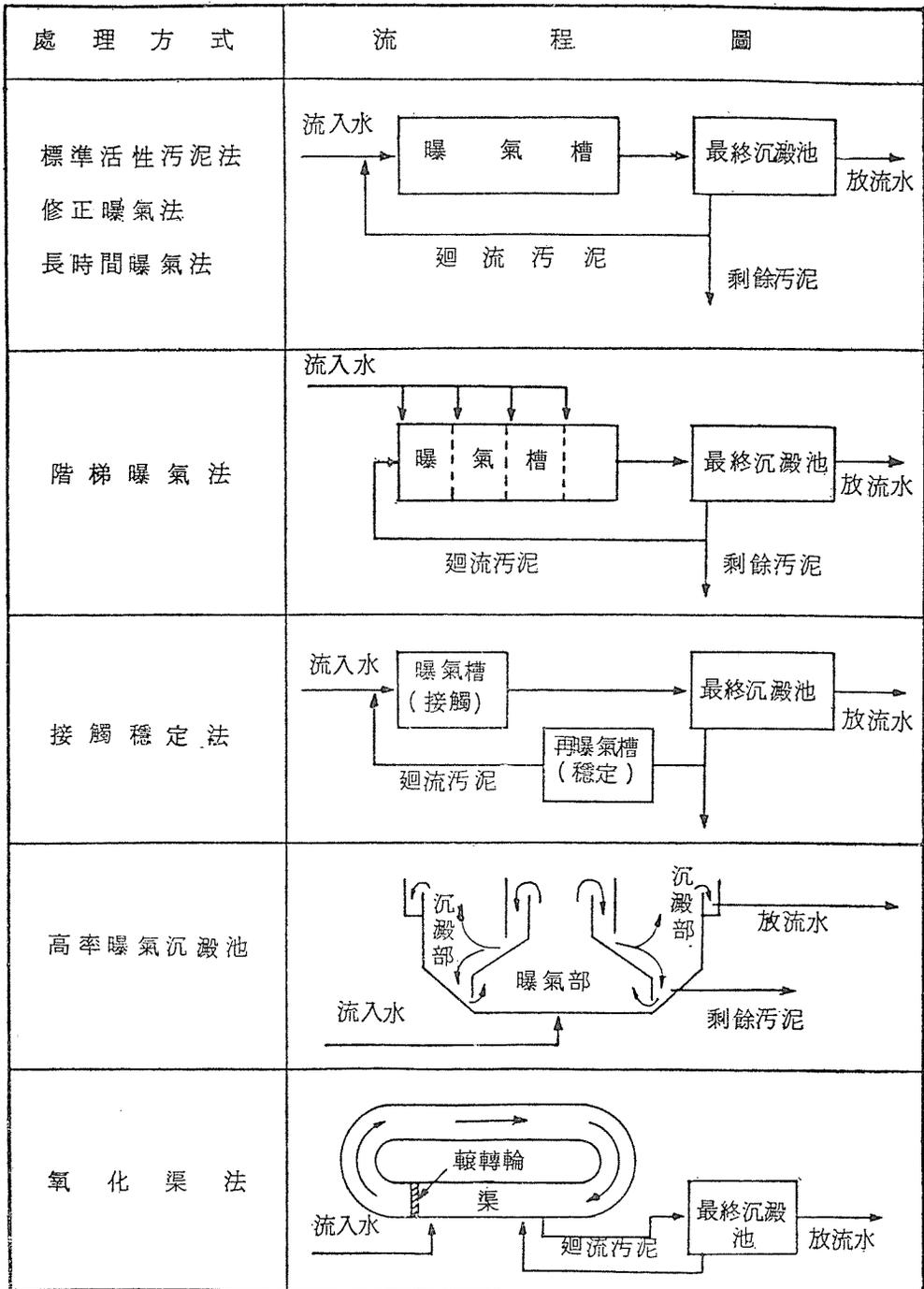
由圖上可知對數增殖期乃有機物及微生物之比率較大時發生，在本期內微生物去除有機物量較多，但欠缺凝聚性及沉降性。但隨着微生物增殖的結果，有機物量減少，經由減衰增殖期至體內呼吸期，一般藉減衰增殖期及體內呼吸期之微生物以處理廢水。

當可利用之有機物缺乏時，即行進入體內呼吸期，微生物以自體的細胞質為能源，進行氧化及分解，另一部份由於餓死致微生物數量減少。

微生物的成長及可利用之有機物量之關係，即為各種活性污泥法之負荷條件。

三、活性污泥法之處理方式

活性污泥法處理廢水之方式，除有標準活性污泥法之外，尚有各種修正法，各種處理方式示如圖六各種處理方式之操作標準示如表三。



圖六、活性污泥各種方式

表三、活性污泥法操作標準

項 目	計 算 法	標準法	階梯曝氣法	長時間曝氣法	氧化渠法	接觸穩定法	高率曝氣沉澱池	修正曝氣法
曝氣時間 (小時)	$\frac{V \times 24}{Q \times (1+r)}$	4.0—8.0	2.5—5.0	12.0 —24.0	24—28	5	2—3	1.5—2.5
MLSS (mg/ℓ)		1,000 —2,000	1,000 —2,000	3,000 —8,000	3,000 —4,000	2,000 —8,000	300 —6,000	400—800
污泥迴流比 (r)	$\frac{R_s}{Q}$	0.2—0.3	0.2—0.3	0.5—1.0	0.5—1.50	0.5—1.0	0.50—1.5	0.05 —0.15
BOD 容積負荷 (L _c , kg/m ³ ·day)	$\frac{BOD \times Q}{V}$	0.4—0.8	0.4—0.8	0.1—0.2	0.1—0.2	0.8—1.4	0.6—2.4	0.6—2.4
SVI (mℓ/g MLSS)	$\frac{SV \times 10^4}{MLSS}$	50—150	50—160	40—60	50—100	50—100	50—100	50—100
送風量 (m ³ /m ³ 流入 污水)	$\frac{B}{Q}$	3—7	3—7	10—20		12	5—8	2—4
剩餘污泥產生率 (%)	$\frac{ES}{Q} \times 100$	1—2	1—2	0.25	0.25	0.25	—	1—2
污泥齡 (S _a ·日)	$\frac{MLSS \times V}{SS \times Q}$	2—5	2—5	20—30	15—30	4	2—4	0.3—0.5
BOD 之污泥負荷 (L _s , kg/kg ML SS · day)	$\frac{L_c}{MLSS}$	0.2—0.4	0.2—0.4	0.01 —0.05	0.03 —0.05	0.2—0.4	0.2—0.4	1.5—3.0

表中 V：曝氣槽容積 (m³) ES：剩餘污泥量 (m³/日) BOD：流入污水 BOD (kg/日)
 R_s：迴流污泥量 (m³/日) Q：流入污水量 (m³/日)
 SV：30分鐘沉澱污泥量 (%) B：送風量 (m³/日)

四、活性污泥系統操作指標

一、曝氣槽操作之水質指標

曝氣槽操作管理上所必要的水質檢驗項目如下：

1. 水溫：

溫度對微生物之生物化學反應速度有影響，反應速度若以攝氧率 (mgO₂/g 污泥·時間) 表示，溫度上升 10°C 反應速度增加 2 倍，溫度降低則生物的活性降低，BOD 之去除速度也降低。一般曝氣槽溫度以 20~30°C 為理想。

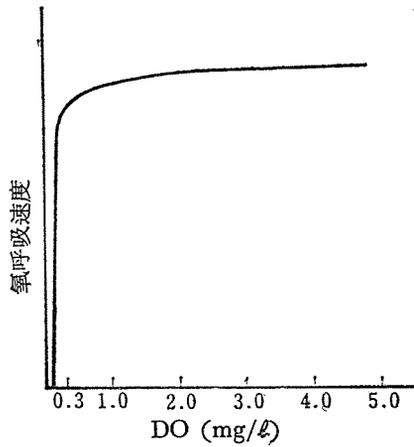
2. pH

曝氣槽中之 pH 偏高或偏低，亦會造成活性污泥的不安定，pH 調節以 6.0—8.5 之範圍為宜，最適 pH 為 7.2—7.4。惟槽內由於生物代謝的結果，pH 會有稍下降的傾向。

3. MLDO

MLDO 為表示活性污泥淨化作用所需之氧量是否充分之測定。MLDO 與活性污泥之呼吸速度之關係示如圖七。由圖上可知當 MLDO 大於 0.3 mg/ℓ 以上，對於活性污泥之處理機

能就無影響，但為顧及流入水量及水質的變化，應維持槽內流入口 DO 0.5~1.0 mg/l，流出口 2~3 mg/l 以上（夏季）為宜。



圖七、活性污泥之呼吸速度

4. MLSS

MLSS 為檢討 BOD-SS 負荷、污泥齡，計算 SVI 及迴流污泥量和調節剩餘污泥量所需之水質項目。標準活性污泥法及階梯曝氣法之 MLSS 大都在 1,500~2,000 mg/l 之範圍。

5. MLVSS

MLVSS 為推測活性污泥中之微生物量為目的之測定。MLVSS 與 MLSS 之比率通常為 55—70%，當 BOD-SS 負荷高則比率增，反之則降低。

6. SV

SV 為推測曝氣槽內 BOD-SS 負荷及污泥齡是否在適當之範圍為目的之項目。一般標準活性污泥法及階梯式曝氣法之 SV 維持為 15—20%。

7. 活性污泥生物

活性污泥之生物試驗，除特殊情形外，以原生動物為主。正常的活性污泥以原生動物為多，而以纖毛蟲類和根足蟲類較佔優勢，已如前述。原生動物中之纖毛蟲類可區分為下列三類，可依其組成比及個體數，藉以判斷活性污泥之淨化能力：

(1) 活性污泥性纖毛蟲類

為出現於活性污泥淨化能力高者。

(2) 中間污泥性纖毛蟲類

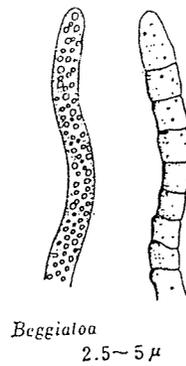
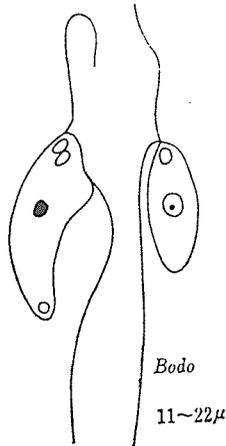
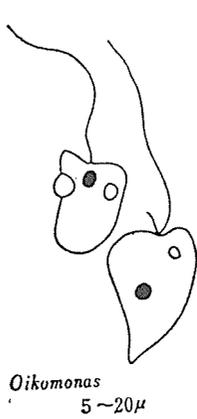
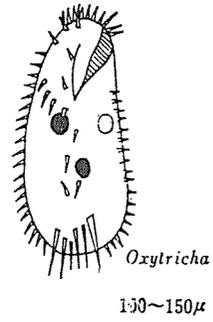
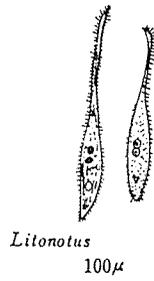
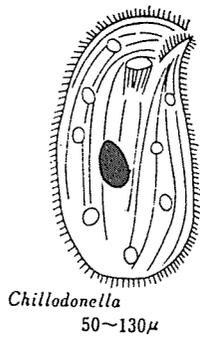
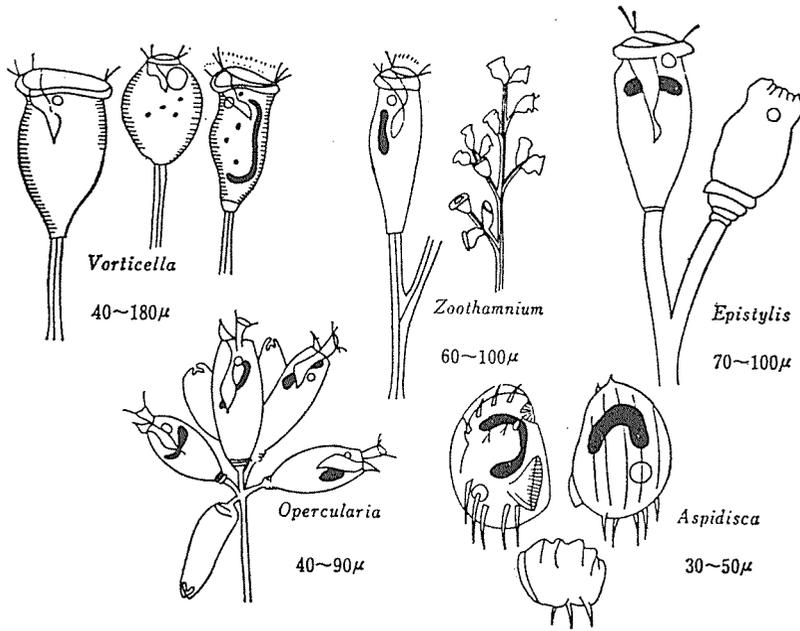
此類大多出現於活性污泥之淨化能力降低或恢復期。

(3) 非活性污泥性纖毛蟲類

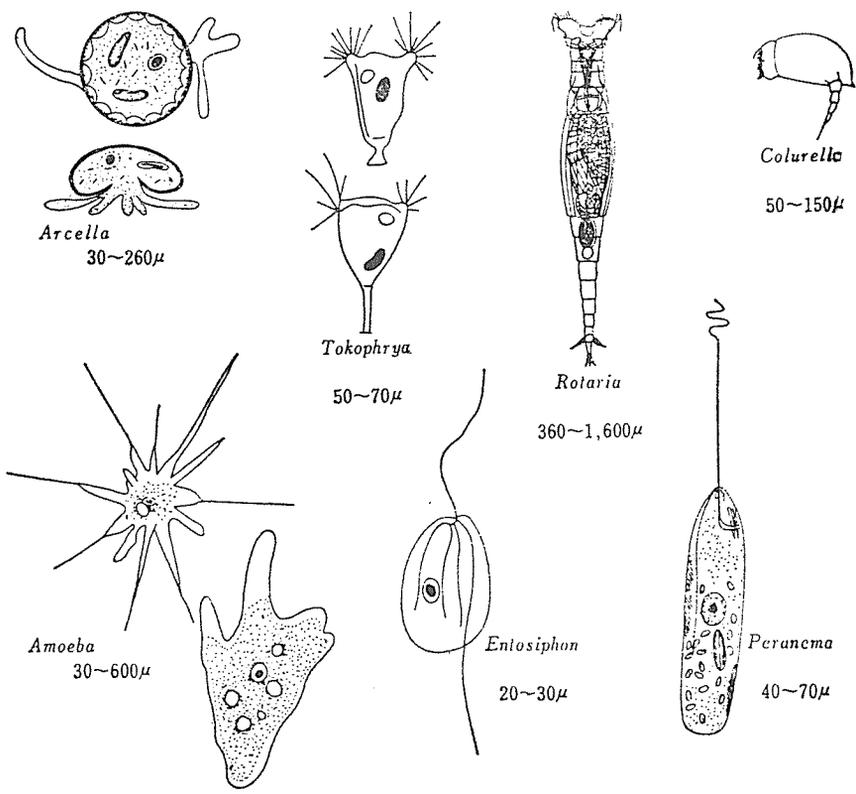
大多出現於開始操作之初期或活性污泥淨化能力惡化時。

上述三類活性污泥之生態分類、指標生物及量的組成示如表二。

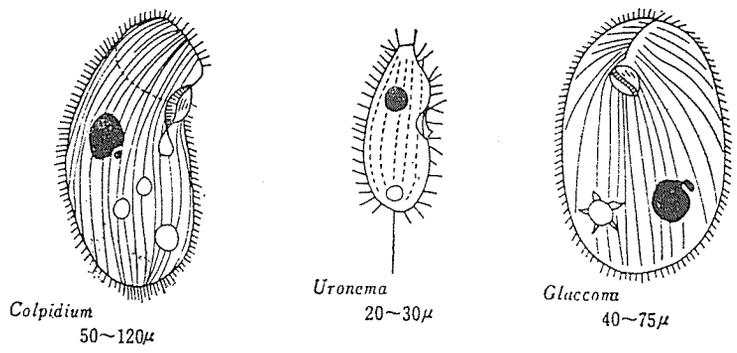
活性污泥中出現之代表性原生動物示如圖八。又操作正常或不正常出現之原生動物示如圖九。



圖八、活性污泥之原生動物例



(1) 操作正常



(2) 操作不正常

圖九、操作正常及不正常時出現之原生動物 (例)

8. 迴流污泥之 SV

迴流污泥之 SV，為檢討迴流污泥量及最終沉澱池之排泥量所需之檢驗項目。迴流污泥之 SV，除特殊情形外，以調節至 90% 左右為直。但若 SV 接近於 100%，則活性污泥有沉積於最終沉澱池之慮，必須加以注意，又 SV 若太低將因迴流多量的水至曝氣槽，致使其停留時間減短。

9. RSSS

為檢討迴流污泥量及剩餘污泥量所需之水質項目

10. RSVSS

為推測活性污泥中生物量的項目。RSVSS 與 RSSS 之比率通常約 55—70%，依流入水之性質、水溫及槽之操作條件而異。

二、曝氣槽調整控制

依據水質檢驗結果，調整曝氣槽操作控制條件，以維持正常運轉，其控制指標包括：

1. SVI

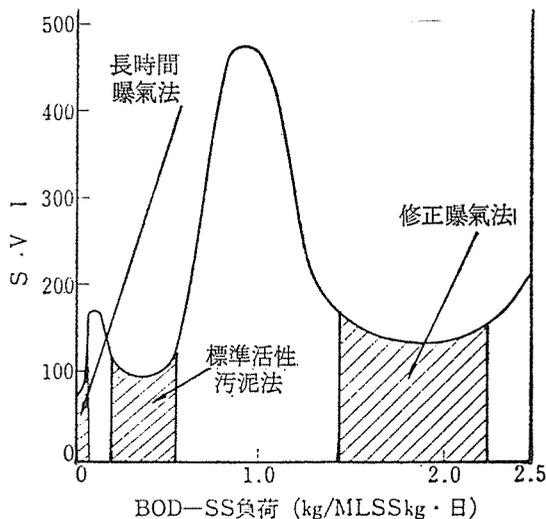
SVI 為由 MLSS 及 SV，依下式計算之：

$$SVI = \frac{SV(\%) \times 10^4}{MLSS(mg/\ell)}$$

例如 SV 20%，MLSS 2,000 mg/ℓ 時

$$SVI = \frac{20 \times 10^4}{2000} = 100$$

SVI 愈大，活性污泥之沉降性及濃縮性愈低，依流入水之水質、水溫及處理條件而異。標準活性污泥法及階梯式曝氣法為 80—150 左右。BOD-SS 負荷低或無機性 SS 流入時亦低。又 BOD-SS 負荷高或有特殊工業廢水流入時則上升。SVI 及 BOD-SS 負荷之關係示如圖十。



圖十、BOD-SS 負荷與 SVI 之關係

2. BOD-SS 負荷

BOD-SS 負荷若過高，則流入水將因無法充分處理而流出，反之若負荷過低，則因活性污泥之體內呼吸比率高，皆會使處理效率降低。

BOD-SS 負荷，可以下式計算之

$$\text{BOD-SS 負荷} = \frac{\text{流入廢水量 (m}^3/\text{d)} \times \text{流入水平均 BOD (mg/}\ell\text{)}}{\text{(kg/kg SS}\cdot\text{d)} \quad \text{曝氣槽容量 (m}^3\text{)} \times \text{平均 MLSS (mg/}\ell\text{)}}$$

又 BOD-SS 負荷之外，尚有 BOD 容積負荷，可以下式計算之

$$\text{BOD 容積負荷} = \frac{\text{流入廢水量 (m}^3/\text{d)} \times \text{流入水平均 BOD (mg/}\ell\text{)}}{\text{(kg/m}^3\cdot\text{d)} \quad \text{曝氣槽容積 (m}^3\text{)} \times 1,000}$$

BOD-SS 負荷及 BOD 容積負荷之適當操作範圍，依活性污泥法之各種處理方式而異，示如表三中。

3. 污泥齡

污泥齡為流入水之 SS 在曝氣槽之平均停留時間，與 BOD-SS 負荷同樣，為判斷其操作是否適當的指標。

污泥齡可以下式計算之：

$$\text{污泥齡 (日)} = \frac{\text{曝氣槽容積 (m}^3\text{)} \times \text{平均 MLSS (mg/}\ell\text{)}}{\text{流入廢水量 (m}^3/\text{d)} \times \text{流入水平均之 SS (mg/}\ell\text{)}}$$

又污泥齡與 BOD-SS 間之關係可以下式表之

$$\text{污泥齡} = \frac{\text{流入水之平均 BOD (mg/}\ell\text{)}}{\text{BOD-SS 負荷 (kg/kg SS}\cdot\text{d)} \times \text{流入水平均 SS (mg/}\ell\text{)}}$$

污泥齡之適當範圍，依活性污泥法之各種處理方式而異，示如表三中。

而曝氣時間，大多不考慮迴流污泥量，而以下式計算之：

$$\text{曝氣時間 (小時)} = \frac{\text{曝氣槽容積 (m}^3\text{)}}{\text{流入廢水量 (m}^3/\text{d)}} \times 24\text{小時}$$

4. 污泥迴流量

為維持曝氣槽內污泥濃度一定，曝氣槽內混合液濃度 C_A 和迴流污泥之濃度 C_R 間之關係可以下式表之

$$C_A = C_R \cdot \frac{\gamma}{1 + \gamma}$$

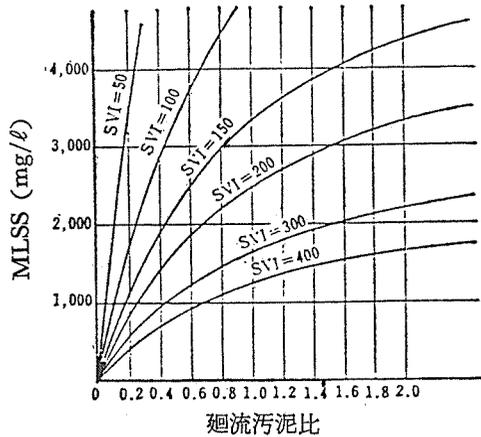
又因 $C_R \leq 10^6 / \text{SVI}$

故 $C_A \leq \frac{10^6}{\text{SVI}} \times \frac{\gamma}{1 + \gamma}$

則知道污泥沉降性，迴流污泥量就可決定之。污泥迴流比，SVI 和 MLSS 之關係示如圖十一。

三、最終沉澱池水質指標

最終沉澱池為使混合液沉澱分離，使上澄水和活性污泥達到充分沉澱分離之構造物，在水質管理上與曝氣槽同為一體。最終沉澱池的沉澱效果，受活性污泥之性質（凝聚性、沉降性及壓密



圖十一、迴流污泥比、SVI 和 MLSS 之關係

性)、操作條件(停留時間、水面積負荷及溢流堰負荷)、水理條件(密度流或短流)所影響,甚至也受風的影響。

最終沉澱池上澄水之水質即為放流水,因之對於上澄水中活性污泥之上浮或溢流狀態,應依水質檢驗結果加以綜合判斷,進行適當的操作控制。最終沉澱池之放流水水質乃反應活性污泥系統整體的操作狀態,因之對於其水質狀況、更應加以注意。

最終沉澱池水質管理上必要之檢驗項目,包括:

1. pH :

通常處理水之 pH 應為 6.8—7.2,與流入廢水相同或稍降低,在夏季水溫高淨化能力也較高時大都為 7.0 以下較多。

2. 透視度 :

處理水之透視度通常在 30 度以上,水質良好時可達 50—100 度以上。

3. SS :

SS 大多在 20 mg/l 以下,若活性污泥之凝聚性或沉降性降低、或水面積負荷過大或沉積活性污泥過多時,SS 會升高。又池之水面上浮多量活性污泥時,常為造成高 SS 之原因,應瞭解其原因,做適當的調整。又溢流堰上繁殖藻類,將會阻礙上澄水之溢流,也應加以注意去除之。

4. BOD :

一般在 15 mg/l 以下較多,若 BOD-SS 負荷過大,活性污泥之凝聚性或沉降性降低及 SS 增加,會使 BOD 增高。又水溫高或污泥齡長時,由於硝化會導致 BOD 上升。

5. COD :

放流水之水質標準,有以 COD 為指標者,因之 COD 之檢驗為不可或缺者,且處理水之 BOD 與 COD 間有一定的比率,可藉 COD 之檢驗以推測 BOD。

6. DO :

活性污泥在最終沉澱池中,仍會消耗 DO,因之處理水之 DO 通常較曝氣槽出口之 MLDO

為低。但若 MLDO 在正常 (2~3 mg/ℓ) 值，但處理水之 DO 為零時，則顯示最終沉澱池中蓄積多量腐敗的污泥，必須加以注意。

7. 大腸菌羣數

大腸菌羣為生物處理過程上，構成活性污泥膠羽主要細菌羣的一種，由於被棲息於活性污泥之原生動物所捕食，因之處理水中之大腸菌羣數大為減少。

正常活性污泥操作下，處理水中之大腸菌羣數大多在 1,000 個/ml 以下，若處理效果降低或冬季水溫較低之季節，則有超過 5,000—10,000 個/ml 之現象，應加以消毒後放流之。

四、影響活性污泥之因素

1. 營養分

廢水處理上活性污泥之微生物代謝所必須之營養分，依微生物之組成、種類而異，除碳水化合物外，尚需少量的氮、磷及其他微量的鐵、鈣、鉀等，一般以 BOD : N : P : Fe = 100 : 5 : 1 : 05 為最適當。工業廢水中營養分不平衡時，氮可添加無水氨，磷添加 Na_3PO_4 ，鐵添加 FeCl_3 以平衡之。

2. 有害物質

(1) 殺菌劑、消毒劑、除草及殺蟲劑等流入曝氣槽，會造成活性污泥的解體，容許濃度 5mg/ℓ 以下。

(2) 含有硫化物及 SO_2 下水呈厭氧作用散出 H_2S ，流入量若超過 5mg/ℓ，亦會造成污泥解體，避免方法為防止水流停滯或曝氣改善之。

(3) 重金屬

即使微量的重金屬也會被活性污泥生物體吸收蓄積，濃縮達數百倍。金屬離子毒性強度的順序如下：

$\text{Ag} > \text{Hg} > \text{Sn} > \text{Cu} > \text{Cd} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Zn}$ ，

但重金屬對於活性污泥阻害之容許濃度並不一定。

(一) 在曝氣槽入口污水中 Cu、Cr、Zn 若有數 mg/ℓ 時，經定時抽取剩餘污泥，則不會發生影響，否則有害。

(二) 污水中重金屬含量變化大時，對活性污泥凝聚作用將造成影響。

(三) 曝氣槽流入口數 mg/ℓ 的重金屬，經活性污泥吸着，其放流將可降低 90%，此乃因蓄積於活性污泥生物體中。

(四) 活性污泥法允許重金屬濃度如表四。

3. 無機性廢水

(1) 合流式下水道或雨水流入稀釋污水，致 Ca、K、Mg 等濃度降低，SVI 上升，尤其在颱風、豪雨後 SVI 上升的傾向，大都由於 Ca 濃度降低的影響。Ca 的補給可以曝氣槽總容量以 20~30 ppm 工業用 CaCO_3 加入之。

(2) 稀釋水的水源（河水、井水），會變更污水無機成分，致 SVI 增加，故無機成分 Ca、Na 及 P 等重金屬應定期微量分析。

(3) 鹽類、尤其是食鹽濃度高的污水，由於其浸透壓和菌體體內浸壓的差而發生活性污泥菌體的

原形質發生分離，細胞機能減弱，致處理效果降低，海水稀釋食鹽之容許限度為 5,000mg/ℓ 以下。

表四、重金屬允許濃度 (mg/ℓ)

項 目	對活性污泥法發生影響濃度	
	連 續 負 荷	分 批 負 荷
Cd	1	10
Cr	2	2
Cu	1	1.5
Fe	35	100
Pb	1	—
Mn	1	—
Hg	0.002	0.5
Ni	1	5
Ag	0.03	0.25
Zn	1.5	25
Co	1	
CN	1	1—10
As	0.7	

(待續)

染整廢水活性污泥法設計之探討

許 懋 宗*

一、染整廢水之特性：

染整工業廢水之性質因加工種類、工廠設備、使用染料、助染料、填充劑及纖維品種類不同而有很大之差異，其水質污染之主要來源有下列諸項：

(一)酸鹼度 (pH 值)：

1. pH 值偏高：造成鹼性廢水之主要程序有精練、過氧化物漂白、反應染料、還原洗淨等。
2. pH 值偏低：造成酸性廢水之主要程序有酸性染料、鉻化染料、次氯酸漂白及酸處理等。

(二)懸浮性固體物質：刮落之毛料及纖維屑、上漿劑、加工填充劑、染色劑。

(三)生物需氧量 (BOD)：上漿劑、界面活性劑、從纖維品脫落之油脂、蠟、蛋白質、加工劑、及其他污垢類。

(四)化學需氧量 (COD)：還原性漂白劑、還原性洗淨劑、蛋白質、上漿劑、甲醛、染色劑。

(五)鉻：鉻媒染、鉻染料之後處理、直接染料之固着、酸化染料之酸化發色。

(六)錳化亞鉛：特殊漂白。

(七)鐵：鐵媒染、植物染料染色、可溶性鹼性染料之染色。

(八)銅：固着劑、金屬錯鹽染料、直接染料之後處理。

(九)色度：染料、顏料。

(十)油脂：煤油或脫脂過程產生。

二、染整廢水之一般性處理：

染整廢水之一般性處理方法可分為：

(一)酸鹼度 (pH 值)：pH 調整。

(二)懸浮性固體物質：

1. 粗大漂浮物或懸浮性固體物：可利用攔污柵、細篩機、及自然沉降法等祛除。
2. 膠體物質：可利用混凝沉澱法、凝集浮上法、及生物處理法等祛除之。

(三)溶解性物質：

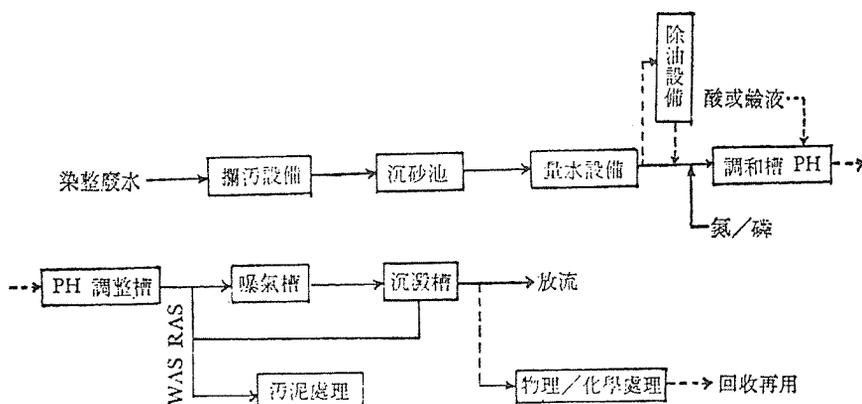
1. 溶解性有機物質：可利用生物處理法祛除。
2. 溶解性無機物質：可利用化學藥劑與之反應而沉澱祛除。

中技環境工程公司董事長

污泥之處理：

1. 濃縮法：以重力沉降濃縮或加壓浮上濃縮使污泥體積減少，易於處理，通常供作脫水及晒乾之前處理。
2. 脫水法：一般以過濾法或離心法。
3. 乾燥法：晒乾或加熱乾燥。
4. 生物分解法：喜氣消化或厭氣消化。

三、活性污泥法廢理染整廢水之一般流程：



四、染整廢水活性污泥處理法之設計：

(一)前處理設備：

為使染整廢水之處理達良好效果，完善之前處理是必要的。粗大之漂流物或懸浮性固體物質，如刮落之毛料或纖維屑、及黏着劑等須先以攔污柵攔除，攔污柵可為人工清除或機械式自動清除，較大型廠宜採用機械式自動清除之攔污柵，以免攔污柵因未清除致攔污柵前後之水頭差變大，而使上游側發生甚大之壅水 (back water) 現象。染整廢水中之含砂量變化甚大，可因纖維品類不同、收集系統是否有合併衛生污水而有相當大之差異，含砂量高之廢水須設置沉砂池祛除砂礫，以維護設備避免磨損。由於染整廢水一日之中水質及水量變化甚大，必須設立流量測定設備，以了解流量之日變化情形並作為操作管理及控制之參考，明渠流量之測定可以巴歇耳量水槽、三角堰、矩形堰等為之。

由於染整廢水之水質及水量變化甚大，以活性污泥法處理雖較能應付突增之負荷，然須24小時連續操作，為應付下班時間及休假時期及增進廢水量及水質之穩定性，應設置足夠容量之調和池，一般之設計容量以一日之流量為原則。

染整廢水之 pH 值或偏高、或偏低、或時為偏高時為偏低，為使其 pH 值適合微生物之生存環境，須設置 pH 調整控制設備以增進調整之準確性及和機動性，由於 pH 感應電極均屬浸漬

性，長期浸漬廢水中，污垢易附着電極表面而使感應不良，宜考慮加設洗淨器，使維護便利，增長電極壽命。

(二)活性污泥曝氣槽之設計：

一般說來，染整廢水是一種較不易為生物分解之廢水，其基質祛除速率 k 值甚低，約為 0.02 day^{-1} ，而以此種特性而言，最適合採用者為活性污泥法中之延長氧化法。12小時之水力停留時間可以祛除 BOD 85% 以上，色度之減輕有賴更長之停留時間，12小時僅可減少色度約 20%，若將停留時間增至 48 小時，則可減少色度 50%，然均無法以活性污泥法將色度減至滿意而可以接受之程度，色度之祛除須賴其他更有效之處理方法。

由於長時間之停留，且有機物負荷 (F/M) 甚低，污泥之廢棄量甚少，因而減少污泥處理之困擾，其污泥之產生量約為 $-0.03 \text{ g VSS} \cdot \text{dest/day} \cdot \text{g MLVSS}$ 。

12小時之停留	$F/M=0.280\text{d}^{-1}$	MLSS=1800-2200mg/ℓ
24小時之停留	$F/M=0.140\text{d}^{-1}$	MLSS=1500-1900mg/ℓ
36小時之停留	$F/M=0.088\text{d}^{-1}$	MLSS=1400-1800mg/ℓ
48小時之停留	$F/M=0.064\text{d}^{-1}$	MLSS=1300-1700mg/ℓ

曝氣槽停留時間 (t) 之設計

$$t = \frac{(S_o - S_e)(24)}{X_a U}$$

X_a ：曝氣槽中 MLVSS 濃度 (mg/ℓ)

$$U：\text{比利用率 (day}^{-1}\text{)} = \frac{(F/M)E}{100}, F/M = \frac{S_o}{\theta X_a}$$

S_e ：放流之溶解性 BOD₅ 濃度 (mg/ℓ)

S_o ：入流之總 BOD₅ 濃度 (mg/ℓ)

θ ：水力停留時間 (day)

需氧量之計算

$$R_r = a' S_r Q + b' X_a V$$

R_r ：氧利用量 (oxygen utilization per day)

$$S_r = S_o - S_e$$

a' ：氧化需氧量 oxygen requirement for oxidation (fraction of substrate level)

b' ：內生期呼吸需氧量 oxygen requirement for endogenous respiration

Q ：流量

V ：曝氣槽總體積 R_r ：oxygen utilization per day

供氧量之計算

$$N = \frac{N_o(C_s \beta - C_l) \alpha}{9.2} (1.024)^{T-20}$$

N ：現場傳送效率 (transferred under field condition), $1 \text{ bO}_2/\text{hp} \cdot \text{hr}$

No : $\ell bO_2/hp\text{-hr}$ transferred in water at 20°C and zero D.O.

Cs : 飽和溶氧量 mg/ℓ (在特定溫度及高程)。Cs 為溫度之函數，溫度升高 Cs 值降低且時受水中溶解鹽之影響 (包括有機鹽及無機鹽)

β : 飽和氧濃度校正係數，(因含有溶解鹽改變表面張力之校正因數約 $0.95\sim 1.0$)

α : 氧傳送校正係數 (在一般家庭廢水 $0.8\text{--}0.85$)

Cl : 溶氧量 mg/ℓ (在曝氣槽中即混合液之溶氧量)

污泥產生量之計算

$$\Delta X = QX_i + aSrQ - (bXaV) + QX_e$$

ΔX : 污泥日淨產生量 (net daily sludge production)

a : 因同化作用增加之污泥 (sludge increase due to synthesis)

b : 因內生期呼吸作用減少之污泥 (sludge decrease due to endogenous respiration)

X_i : 進流水總懸浮性固體物 (influent TSS)

X_e : 放流水之總懸浮性固體物 (effluent TSS)

V : 曝氣槽之總體積 (volume of aeration basin)

五、廢水回收使用之可能性

染整廢水處理回收再使用之價值須考慮下列因素：

1. 使用自來水或其他水源處理所需之費用。
2. 排放入市鎮污水系統之費用。
3. 回收水質之要求。
4. 改用乾式程序 (dry process) 所需之費用。

一般以活性碳來吸附放流水中之雜質後再利用是有效可行的，然其配合之設備在此不予贅述。經活性碳吸附並配合良好之操作管理，其處理水水質可達 BOD_5 微跡、 COD $5\text{mg}/\ell$ 及微跡之色度。

活性碳需要量約為 0.4 磅 COD / 磅 carbon

水力負荷約 4.34 gpm/ft^2

接觸時間約 $3\text{--}5$ ft^3 carbon/gpm

六、結 論

1. 染整廢水之水質及水量變化甚大，一日之內由於所使用之染料種類不同、纖維品之型態不同、處理方式不同，而使其在水質及水量上產生極大之變化。
2. 染整廢水之 BOD 分解速率 K 值甚低，約為 0.02 day^{-1} (base on 10)，而一般之家庭污水 (衛生污水) 之 k 值則約為 0.11 。
3. 染整廢水之 BOD_5 與 COD 之比值甚低，約為 0.25 ，一般家庭污水之 BOD_5/COD 值約為 0.35 ，顯示其較不易為生物分解。

- 4.一般之染整廢水皆缺乏營養物質，尤其是氮源，其 $BOD_5:N:P$ 之值約為 100 : 0.9 : 1.3，必須添加補充足夠之氮源以供給微生物合成細胞，正常之比值應為 100 : 5 : 1。
- 5.染整廢水可經活性污泥中法之延長氧化法處理而得到良好之效果。
- 6.由於延長氧化法之停留時間較長，可使廢棄之污泥量減至最少，因而減少污泥處理之麻煩。
- 7.泡沫問題會在曝氣槽中產生，然增加其 MLSS 濃度可減少泡沫量，此乃由於 MLSS 對泡沫有吸附作用之故。
- 8.將廢水在曝氣槽中之停留時間由12小時增至48小時，可以大幅減少 BOD 及色度，其 BOD 可以祛除85%以上而色度則可以祛除50%以上。
- 9.以模型廠先行做染整廢水處理之試驗是必要的，因為由此試驗可以確定效果並找出最佳之設計依據。
- 10.較少量之污染性物質如鉻、錳、鐵、銅等，可以在活性污泥處理中被吸收一部份而被祛除。

廢水處理廠操作管理(二)

——活性污泥系統(2)

歐陽嶠暉*

五、活性污泥之馴養

一、操作開始時需注意項目

新設處理廠於開始操作時，需注意下列幾點：

- (1)充分瞭解處理廠設計資料、施工圖、操作說明書。對於處理原理，設施之構造、容量、水流狀況及機械設備的操作亦應加以熟悉。
- (2)首先以清水依設計條件填滿各設施進行試車運轉、調整各機具類，直至合乎設計條件為止。
- (3)對於構造物、機具、閘閘及各種開關之操作皆已熟悉，並檢驗無缺點後始得引入污水進行操作。

二、污泥之馴養

開始運轉時幾乎無污泥，而在污泥未形成之前無法期望獲得處理效率，因之必需早日馴養合乎處理水水質的活性污泥。

活性污泥之形成，與化學反應不同，在化學反應中，反應條件改變立刻發生不同的反應。但活性污泥之環境條件一有改變，為適應新條件活性污泥中的微生物之種類及量則徐徐發生變化，而漸次形成新條件之安定化污泥，惟其所需時間甚長。活性污泥的馴養有下列三原則：

- (1)活性污泥形成，其馴養先在 BOD 負荷 0.2 kg/m^3 以下之條件進行，俟 MLSS 達到 $500 - 1,000 \text{ mg/l}$ 再依設計漸次提高。
- (2)迴流污泥量在活性污泥形成前，迴流量應大於設計量，俟污泥形成後再以設計量操作。
- (3)測定 SV_{30} 及 MLSS，設定適當負荷量及操作方法。依污泥沉降狀態，維持 DO 在 1 mg/l 以上操作之。

污泥的形成有兩種方法。第一種方法是每日分批引入定量的廢水，連續流入並予曝氣，使污泥自然形成的方法。第二種方法為以取自相近似水質的處理廠之污泥或添加植種物質，使形成合乎處理水水質的污泥。

* 本小組委員

國立中央大學土木研究所教授

大規模的處理廠可採用前述第一種方法馴養污泥，小規模則以後者為快。

1. 流入廢水直接馴養

在流入水量可少，而污泥馴養期間多餘的廢水可繞流放流之下，可採用本法。

於引入廢水裝滿最初沉澱池、曝氣槽、最終沉澱池後，最初沉澱池的水不再引入曝氣槽而予繞流放流。

將曝氣槽加以充分曝氣，並全開最終沉澱池之迴流污泥泵，使曝氣槽與最終沉澱池的液體循環。次日自最初沉澱池引沉澱水入曝氣槽數小時再停止，與第一日同樣操作。而在前10天，引入水量為設計水量的30%，其次10天為70%，再次10天則引入設計量操作之。而操作至 SV_{30} 為10—15%始為正常。

倘若曝氣槽之前未設繞流設施，則必須全量引入曝氣槽，同時全開最終沉澱池迴流污泥泵，在此情況之下，當流入量多時，有少量膠質羽會流出為其缺點，達到目標之污泥濃度，所需時間較長。

若廢水之濃度較低者，可依下改善之：

- (1) 流入水不經最初沉澱池，而直接引入曝氣槽。
- (2) 若無最初沉澱池之繞流設施，則可僅用一池（或少數）最初沉澱池，以減少可沉澱物在最初沉澱池沉澱，而盡量使其流入曝氣槽。

2. 添加植種物質馴養

活性污泥植種馴養時，一般以同性質之廢水處理廠之污泥進行植種最為良好，但若附近無該類處理廠，也可取用較相似者。

特殊工業廢水馴養時，植種物質之選擇不容易，除自污水處理廠取少量污泥外，添加少量堆肥或土壤浸出液（土壤溶於水靜置後之上澄液）甚具效果。

於活性污泥形成達適當量後，依設計條件之範圍，調整混合攪拌速度、空氣量、負荷量，尋求最經濟和最適之操作條件。

六、活性污泥法操作控制

一、現場觀察

活性污泥法的操作，首重於每日觀察，至於應如何觀察及觀察那些項目，是為操作管理人員應具備的知識。

活性污泥之正常與否，可從外觀包括色、臭氣、膠羽大小及沉降性窺知之。一般正常活性污泥為灰褐色或茶褐色，具土壤臭、膠羽緻密，沉澱分離良好，分離水清澈。

一般操作人員於觀察曝氣槽和最後沉澱池的水面狀況，就能判斷污泥生長情形、處理程序正常否與是否需要調整。但在改變操作之前仍需藉前述試驗以確定觀察的結果。

1. 曝氣槽之觀察

(1)表面紊流狀況	(1)正常：依曝氣設備類型與過去操作情況而定，但整個槽中應有紊流產生。 (2)不正常：有死角表示空氣和攪拌不足。
(2)泡沫	(1)有適量或少量的淡色泡沫，表示處理系統處於良好的狀態。 (2)積厚且泡沫呈白色翻騰顯示為未成熟污泥，應查核是否細胞停留時間 (CRT) 過短或 F/M 過高，其他檢驗項目包括呼吸率 (R·R)、SVI、沉澱速率等。 (3)有褐色泡沫形成的濃稠浮渣層，表示污泥已老化，應增加排棄量。其他檢驗項目包括：呼吸率、SVI、沉澱速率是否降低或減緩。

2. 最終沉澱池觀察

最終沉澱池中假若污泥毯是在池深的一半以下，且水色清澈，表操作作狀況良好。

若最終沉澱池水面有下列任何情況出現，即表示活性污泥處於不正常狀態：

- (1)表面浮渣 水面有大量浮渣，此現象大多是由微生物的死亡所形成，表示操作程序可能處於內呼吸期。
- (2)細小膠羽 細小膠羽不斷溢出溢流堰，表示污泥可能已老化。
- (3)翻騰的膠羽 因污泥不成熟，即 F/M 比太高所致。
- (4)污泥塊 污泥中有空氣氣泡存在或污泥在最終沉澱池中停留過久而致腐敗惡化。

3. SV_{30} 的活性污泥狀態

(1)污泥的沉降狀態

污泥靜置於量筒五分鐘就可沉澱，但上澄部與污泥界面尚很模糊，通常五分鐘就可看出污泥沉降狀態，而最初10分鐘之沉澱約為30分後之 SV_{30} 的35%。 SV_{30} 為30分鐘沉澱後污泥容量。

(2)色澤、膠羽凝聚性

自然沉降污泥以雲霧狀凝聚沉澱，具有凝聚性者污泥較重，沉降速度較快，SVI 均為70—120之間。

(3)上澄液的透視度

上澄液與沉澱池的處理水大約相等。透視度高表沉澱水水質良好。

二、活性污泥狀態之判斷

1. SV_{30} 活性污泥現象之判斷

在水平流曝氣槽於曝氣槽出口端，完全混合流則於槽中任一點，採取水樣靜置於 1,000 ml 之量筒，經30分鐘後，活性污泥在量筒中之沉降狀態與在最終沉澱池之沉澱狀態相近似，可藉以判斷污泥之不正常現象之類別並判斷其可能原因。活性污泥 SV_{30} 之沉降特性示如圖十二。活性污泥異常現象之原因示如表五。

2. 顯微鏡觀察之判斷

顯微鏡每日觀察膠羽大小、厚瘦、小塊狀或遭破壞、出現之微生物的種類等，皆可藉以判斷活性污泥之狀態，正常之活性污泥膠羽肥厚，以原生動物為多，已如前述，活性污泥異常時

出現之生物如下：

(1) 活性污泥解體時出現之生物

活性污泥解體，處理水呈乳白色混濁時，出現的生物以 *Vahlkampfia limax*, *Amoeba radiosa* 等佔優勢。這兩種生物於活性污泥正常狀況時亦少有存在，但可在一星期內暴發性的增加導致發生解體，此時活性污泥混合液中生物之個數高達 10,000~50,000/mℓ。

(2) 膨化時出現的生物

隨着活性污泥 SVI 增加的同時，污泥中出現多量的糸狀菌，*Sphaerotilus natans* 等各種糸狀菌為膨化的指標生物。這種生物自開始增殖至達到完全膨化狀態，約需 5—10 日左右。

(3) 溶氧不足時出現的生物

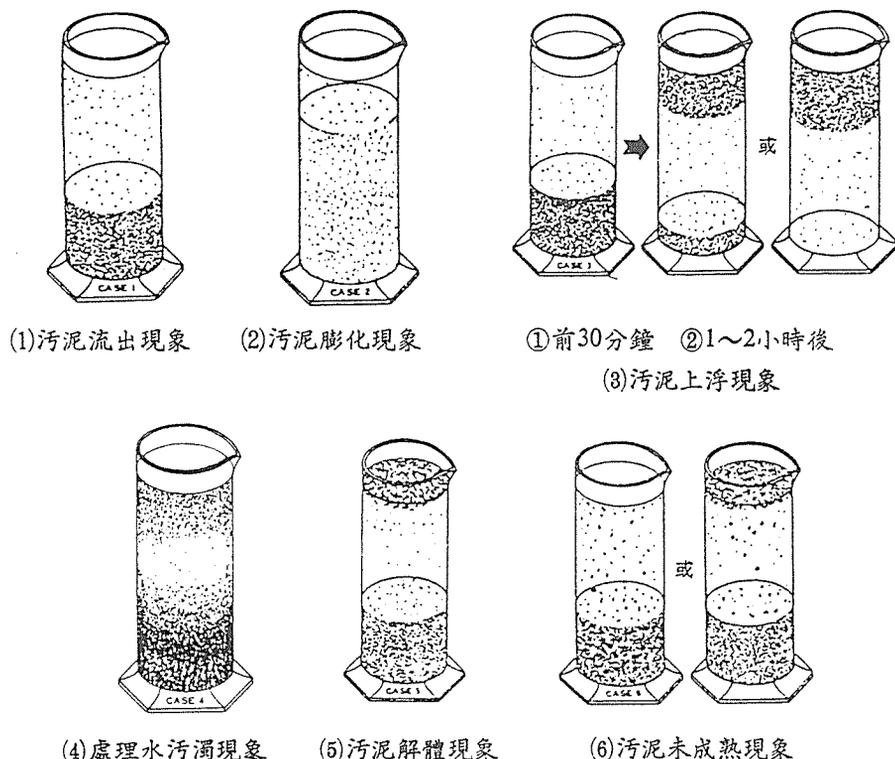
曝氣槽內 DO 若長時間持續在 0.5 mg/ℓ 以下，則出現 *Beggiatoa alba*。

(4) 有機物濃度低時出現的產物

合流式下水道於長期持續下雨，致流入水 BOD 濃度低時，出現的生物為 *Euplotes*, *Oxytricha*, *Stylonychia* 等下毛類及 *Colurella*, *Lepadella* 等輪蟲類增加。

(5) 有害或有毒物流入時

依流入濃度，各種原生動物有減少或消失等傾向，而對此等物質感受性最高的為 *Aspidisca*。



圖十二 活性污泥之沉降特性 (SV₃₀)

表五 活性污泥異常現象之主要原因及其對策

項	區分	異常之現象	原因	對策	備註
1	變色	變黑	活性污泥腐敗	參照第7項	正常活性污泥為灰褐色~褐色
		變白	發生絲狀菌	參照第3項	
2	膠羽輕	(1)污泥呈灰黑色，BOD 低。 (2)淡棕色，不能沉降或上升，BOD 高。	(1)污泥老化。 (2)①污泥未成熟 ②水力負荷過高 ③設備不正常	(1)增加排泥 (2)①增加迴流污泥 ②調整或減低 ③檢查溢流堰整流設備是否正常，調整之。	上澄液中有細小顆粒。
3	膨化	(1)活性污泥變白，不調和狀 (2)沉澱、分離性不良，不壓密 (3)SVI 在200以上 (4)活性污泥由沉澱池溢出，處理水水質不良。	(1)污泥抽除不足致 <i>zooglea</i> 菌異常繁殖 (2)下述原因致絲狀菌異常繁殖 ①曝氣量不足。 ②MLSS濃度過高或過低 ③流入水 BOD 過高 ④流入水含有害物質 (5)pH 降低。	(1)排泥 (2)深究左列原因擬訂對策，為提早恢復正常可採下列措施。 ①投入凝聚劑（硫酸銨、氯化亞鐵、粘土、矽藻土等） ②添加氯鹽，次氯酸鈉、矽藻土等。 ③添加過氧化氫。	以顯微鏡確認其原因為(1)或(2)。若為原因(2)以其恢復較遲。有時其至需更換污泥。
4	上浮	污泥浮於沉澱池上面流出。	(1)脫氮現象 (2)活性污泥之腐敗 (3)膨化 (4)解體 (5)沉澱池的缺陷（底部、刮泥機等）。 (6)流量變化太大。	(1)①控制曝氣風量 ②增加迴流污泥量，排泥。 (2)參照第7項。 (3)參照第3項。 (4)參照第6項。 (5)沉澱池改造、調整 (6)設置流量調整槽	(1)時 pH 下降上浮污泥附着氣泡。 (2)為發生於尖峯流量
5	混濁	處理水懸浮物濃度高，水色混濁	(1) Protozoa 增殖，毒性物質流入 (2)無 Protozoa，主要為 F/M 過高 (3)過份曝氣	(1)預先處理控制 (2)減少流量或增加迴流污泥 (3)減少送風量	通常為暫時性，原因去除即可恢復
6	解體	污泥被破壞成微細的膠羽現象。	(1)過份曝氣 ①曝氣時間過長過份氧化之狀態。 ② BOD 負荷過低。 (2)特定微生物異常繁殖 (3)有害物質流入 (4)機械性的破損。	(1)控制曝氣量，增加流入水量使負荷適當。 (2)增加迴流污泥量 (3)管制有害物質流入 (4)減少攪拌強度	(2)之特定微生物為 <i>Amoeba</i> ，小型鞭毛蟲等。

7	腐敗 污泥發生腐敗，變黑 及不快臭氣	(1) 氧氣不足 ① 曝氣量不足 ② 曝氣設備故障或停電。 (2) 沉澱池內長期貯積污泥 (3) 曝氣槽、沉澱池之構造有缺陷。	(1) 停止污水流入，增加曝氣依恢復程度調節流入水量 (2) 增加迴流污泥量，加強排泥。 (3) 改善構造物	停止曝氣在夏天 1 天，冬天 2 天以上就發生腐敗。
8	發泡 曝氣槽顯着發泡	(1) 污水基質之原因 (2) 一般清潔劑多量流入	(1) 提高 MLSS 濃度操作 (2) 添加消泡劑 (3) 設置消泡設備	
9	異常 pH pH 下降	(1) 進行硝化 (2) 混入酸性物質	(1) ① 維持適當 MLSS 濃度 ② 控制曝氣量 (放風，分批曝氣等) ③ 增加迴流污泥量 (2) 管制流入水水質	

3. 水質檢驗結果之判斷

活性污泥法操作，最基本的水質檢驗應每日檢測者包括曝氣槽 DO (即 MLDO) SVI 及放流水水質 BOD (或 COD)，上述三項目是否在正常範圍，可做為瞭解活性污泥之操作狀態。MLDO 偏低時其可能原因之推測途徑示如圖十三。處理水 BOD 高於 20 mg/l 時，其可能造成原因之活性污泥狀態之推測途徑示如圖十四。正常之 SVI 為 90~120 ml/g，其偏高或偏低之原因示如表六。可由該等相關水質檢驗結果，做為推測操作不正常之原因及活性污泥之現象。

三、操作控制方法

1. 控制固體物流失的應變方式

(1) 進流水及迴流污泥加氯處理

加氯量介於 10~20 mg/l，可加在迴流污泥，其計算公式如下：

$$CL = SVI \times F \times W \times 10^{-3}$$

式中

CL = 每天所需氯公斤數

SVI = 污泥容積指數

F = 迴流污泥，m³/d

W = 迴流污泥懸浮固體物，mg/l

(2) 調整空氣供給量

(3) 使系統變成短暫的缺氧

(4) 於最終沉澱池放流水或曝氣槽混合液或迴流污泥添加化學藥劑 (硫酸鋁或氯化鐵等)，以改善污泥沉降性。

表六 SVI 不正常之原因

不正常內容	原因	原因之要項
SVI 偏高	流入水水質變化	1. 水溫變化 2. pH 不正常 3. 低分子之溶解性有機物大量流入 4. 氮及磷不足 5. 多量腐敗廢水流入 6. 脫離液流入量不均勻 7. SS 之流入量低 8. 有害物質流入
	曝氣槽管理不正確	9. BOD-SS 負荷過大 10. MLDO 不足
	最終沉澱管理不正確	11. 活性污泥滯積過多
SVI 偏低	流入水質變化	12. 水溫上升 13. 砂土等流入
	曝氣槽管理不正確	14. BOD-SS 負荷過小

a. 硫酸鋁——17% $Al(OH)_3$ 溶液可以有效控制污泥膨化，每24小時中加入 8~12 mg/ℓ 之量即可。硫酸鋁具腐蝕性故加藥時應使用玻璃纖維桶。同時需注意 pH 值降低還可藉添加石灰使 pH 值保持 6.2—6.6，蓋該範圍具最好的效果。

b. 過氧化氫——依進流量，在迴流污泥中於24小時期間加入 200 mg/ℓ 可有效控制污泥膨化，本法相當有效但成本較高。

(5) 增加排棄污泥量——雖然無法控制污泥膨化，但可減少固體物的流失。

2. 長期控制方法

假若設備允許，可使用下列任一法或併用多法，做為經常性操作控制的依據：

(1) 檢查廢水性質找出污泥膨化的原因，然後使用正確的控制方法。例如：假若進流水呈腐敗且含有 H_2S ，又經顯微鏡檢查微生物屬於絲狀菌屬，則應採長期的控制方法以再曝氣去除硫化物。

(2) 用顯微鏡檢查，以便正確的判斷絲狀微生物的型態和存在狀況。

(3) 控制進流量並使負荷均勻。用調和池或空槽使水力和有機負荷達到均勻。

(4) 使用變速的迴流污泥泵和沉澱池，以做為在高 SVI 之一操作方法，若沉澱池容量足夠，則可得甚佳之放流水質。此法之缺點是無法降低 SVI 值。

(5)處理程序改為污泥再曝氣式，為達此一操作方式，可將消化槽上澄液加入再曝氣槽以協助控制 F/M，同時由於處理系統中無機物質的蓄積，而增加污泥重量，有利於沉澱。

3.送風量的調整

(1)散氣方式之送風量調整

依處理條件及曝氣槽中之溶氧狀況，常有調節空氣量的必要。

然而欲減少空氣量時，鼓風機最多也僅能降低20~30%。鼓風機風量的控制，通常為減少吸入口側閥之開口度。輪機形（Turbo 型）鼓風機亦可於吐出側之閥控制之，但如控制量過大就有震動發生。魯氏型鼓風機於吐出側如控制過大，有造成破損的現象，可於送風系統中使空氣放散，而於管之末端置於曝氣槽水面下以防噪音。

(2)表面曝氣方式之調整

目前所使用之型式以螺旋槳及輟輪為多。一般設計時都以50%餘裕量設計。

空氣量的調整，為升降槽內之水位，調整攪拌翼與水之接觸深度。若攪拌要很少時則降低旋轉數，有用減速機或變更電動機之極數調整之方法。

4.休假日的對策

活性污泥法之操作，以穩定流量和水質，故維持負荷平衡為不可缺的要素，但實際上工廠廢水常有因週日、假日而減少排水甚至停止排水的現象。

(1)休假日所造成的影響

- (a)負荷量降低，過份曝氣致污泥解體。
- (b)含氮量高之廢水呈硝化作用，曝氣槽發泡、沉澱池污泥上浮。
- (c)曝氣槽混合液 pH 降低。
- (d)沉澱池上澄液透視度差，COD 高。

(2)對策

- (a)設有調整槽者，若為短期休假，則於假日前裝滿廢水，於休假中一定間隔時間，抽水入曝氣槽，但要注意調整槽內因腐敗而 pH 降低。
- (b)未設調整槽者，則於假日前漸次降低 MLSS，以維持高BOD—MLSS 負荷。
- (c)減少曝氣量，以免過份曝氣，但應防曝氣量過少致堆積污泥發生腐敗。
- (d)廢水不經初沉池，直接流入曝氣槽，以提高曝氣槽 BOD 濃度。

七、問題與對策

活性污泥法操作控制，以能維持活性污泥之正常狀態，達到良好的處理效果為目標。

不正常之活性污泥由於其沉降性低，致無法完全沉澱而自最終沉澱池溢出。不正常之現象除摘要列於表五外，下列不正常現象之問題及其對策之進一步討論，可做為操作控制之依據。

一、多量固體物流失，但污泥正常

正常污泥，但就 BOD 負荷言，因 MLSS 偏高，致產生老化污泥。

現 象	原 因	鑑 別	對 策
最終沉澱池：細小膠羽流出溢流堰。污泥毯深達1/4水深，水面上呈現浮渣。	操作過程中 F/M 偏低或 CRT 偏長，亦即固體物濃度太高。	(1)細胞停留時間 (CRT) 太長或 F/M 太低—— SV ₃₀ 試驗： a. 上澄液有固體物而呈混濁。 b. 沉降快速。 沉降污泥濃度增加且超過正常的臨界值。	(1)降低固體物濃度，增加活性污泥的排棄量。
曝氣池：水面有厚黑色的泡沫。	攝氧率 (R R) 比正常值 MLSS 低負荷過高。 檢驗放流水硝酸鹽濃度超過10 mg/l。 檢驗曝氣槽泡沫層中土壤絲菌屬 (Nocardia) 濃度。	(2)是否發生硝化作用。 (3)是否有土壤絲菌屬。	(2)見問題與對策四。 (3)降低 CRT 或污泥齡。

二、多量固體物流失，污泥不正常

超量的泡沫和污泥無法正常沉降，同時固體物濃度過低。

現 象	原 因	鑑 別	對 策
部份固體物流失	可能由於短暫性有機物的超量負荷所引起。 可能由於短暫或意外的超量排泥所引起。	檢查固體物濃度和 F/M 比，F/M 很可能過高，放流水的 BOD 和 SS 增加。 檢查排棄率並比較固體物濃度。檢查污泥泵抽送量是否改變。	見問題與對策五。 降低污泥排棄率並使固體物濃度上升以便控制，回復正常的操作。
曝氣槽被一層厚且白的泡沫所覆蓋，最終沉澱池表面上有翻騰的膠羽。	操作時 F/M 太高，就有可能發生。	檢視固體物濃度和 F/M 比，下面之試驗可顯示為： (1) SV ₃₀ ： ——假若都沈降的話，沈降率太慢。 ——污泥無法壓密。 ——污泥顏色呈淡棕到白色之間。 (2) R R 比正常值還高，	降低 F/M 比。 (1)降低排棄污泥 依曝氣槽 DO 適當的增加空氣量，這約需七天的時間可達改善效果。由於固體物增加沈降率可加快。迴流污泥濃度增加而 R R 趨向於正常。SV ₃₀ 與 R R 試驗應每小時做一次；

RAS 濃度過低無法提供處理系統足夠微生物量。最終沈澱池 DO 趨近於零，放流水的 SS 接近於 MLSS 值。

MLSS 和迴流污泥之 SS 每八小時一次，直到情況改善為止，如需要的話，可噴濺消泡劑。加消化過後的污泥到曝氣槽中可增加負荷率。另增加利用另一最終沈澱池以增加停留時間。

三、水力超負荷

現 象	原 因	鑑 別	對 策
污泥正常——MLSS 迴流污泥及排棄污泥值均正常，MLSS 溢流入放流水中。	大雨降低延時（亦即曝氣槽停留時間不足）導致不完全代謝和最終沈澱池沈降時間不足。	SV ₃₀ 、RR 和 SS 試驗。當處理廠流量超過設計尖峯流量時產生超負荷，可檢核設計數據並比較流量計的讀數。	(1)當氣象預報要下雨時開始增加固體物濃度，停止或降低排棄污泥並且增加迴流污泥。 (2)假若可行的話，增加另一個沈澱池或導入調整槽。
污泥正常但 MLSS 溢流出堰外。	使用二個或二個以上最終沈澱池時產生不均勻流量分佈。	若有安裝流量計時每一個最終沈澱池的流量計都要檢查，並且檢查迴流污泥流量。	(1)計算正確流量。 (2)調整最終沈澱池入口設施構造。 (3)調整迴流污泥泵。
最終沈澱池溢流堰流量不均勻。	堰不均勻導致發生短流情形。	依實際情況而定。	需要時應調整溢流堰。

四、污泥上升

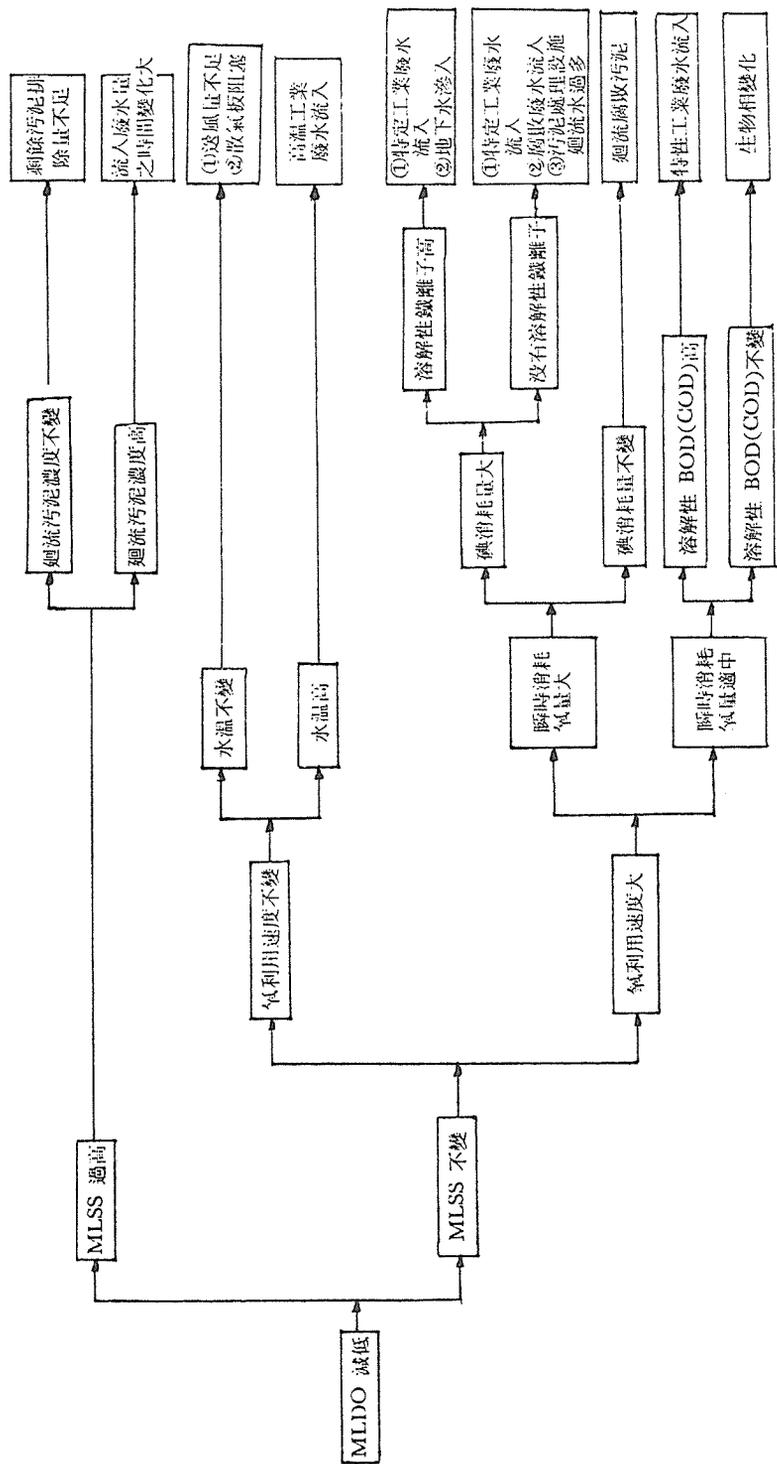
現 象	原 因	鑑 別	對 策
在最終沈澱池水面有暗棕色，到黑色的懸浮腐臭污泥。	排除污泥不足而產生腐臭污泥。	污泥沈降停留時間過長致分解產生 CO ₂ 氣體附着於污泥上。	增加 RAS，縮短污泥在沈澱池的停留時間。
有過量曝氣或脫硝污泥，略呈淡棕色之正常污泥，但有硬塊存在。	過量曝氣或脫硝作用。	檢查放流水中硝酸鹽濃度，若超過 10 mg/l 可能發生脫硝作用。混合液 pH 值降低，需氮量上升表示有脫硝作用。	停用一曝氣槽以縮短曝氣延時，降低硝化作用。或藉增加排棄污泥以降低 MLSS 濃度，本法可增加有機負荷並停止脫硝作用。

五、超量有機負荷

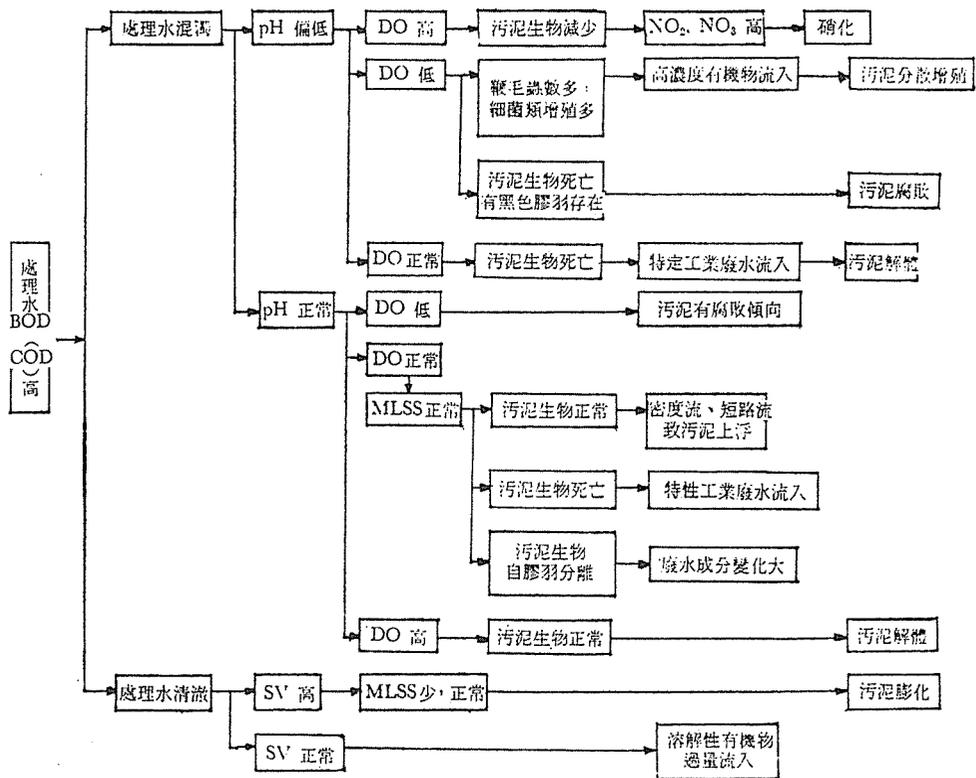
問 題	操作不當引起之現象	正 確 的 操 作
(1)流量未改變，但有機負荷增加，如處理廠排入工業廢水。	立即增加需要空氣量，迴流污泥之品質不佳而含有食物和有機體。微生物之代謝屬早期而無法利用新食物。	增加空氣量與污泥迴流率，降低排棄率，以維持 F/M 或增加代謝的時間： a. 若為完全混合式，則增加曝氣器數目。 b. 若為接觸穩定法則以增加接觸時間及降低穩定步驟——減少負荷。
(2)水力負荷與有機負荷均超量。	縮短延時，再加第(1)項的情況。	可能時增加停留時間，否則增加總固體物。應考慮水力與程序不正常對水流水質之影響。
(3)含有毒性物質的工業廢水間歇排入。	活有機體急劇而瞬間減少或生物完全被殺死，或處理廠放流水對承受水體有害。	在正確校正控制之前，應先分析鑑定工業放流之情況，可用下列方法校正： a. 稀釋和增長延時以適應廢污——用在可氧化的有機負荷狀況。 b. 當負荷有毒性物質時，將廢水予以繞流。 c. 採用分離另行處理之方法。 d. 加強既有規定之管制防止再發生。
(4)整體有機負荷由某一型態改變為另一型態且為高濃度負荷。	無法提供足夠的微生物代謝食物或產生其他不適應的微生物。	改變為污泥再曝氣式或接觸穩定法，以便配合新基質和負荷率。

(待續)

附記：本文第一篇（即上期 p. 173），有部份文字漏打印，該圖八中，上部五種原生動物為(1)活性污泥性纖毛蟲類。圖中中間的兩種原生動物為(2)中間活性污泥性纖毛蟲類。圖下之三種原生動物為(3)非活性污泥性纖毛蟲類。特此補正。



圖十三 MLDO偏低之推測操作不正常原因之途徑



圖十四 處理水 COD 偏高，推測操作不正常原因之途徑

活性微生物液應用於生物處理

孫 啓 碩*

目前廢水處理在歐美是如何節省經費，使達經濟效果，而我國在處理廢水方面，由於部份廠商沒有這方面概念，加上目前處理費用昂貴及處理效果不理想，而傳統之活性污泥法要事先培養活性污泥以便在使用時投入，但由於污泥中之菌種不全，所以活性污泥中之細菌代謝效果不佳。故歐美現有廢水處理用之微生物生產製造於罐內，對所有之有機廢水處理效果極佳。如美國 General Environmental Science Corp. 研究開發一種液體係活的微生物，使用該微生物，可在處理活性污泥時節省龐大的經費（約總經費的30%~40%）並且，因為可以有效去除 BOD, COD, SS 等，因此可以將污水淨化轉為工業用水來使用。

該類活性微生物產品，有粉末固體狀的，但因為細菌 (Bacteria) 的 99.9%。是處在死亡狀態下，所以對細菌而言，是非常浪費的。針對此項缺點而改良的活性微生物液，則是百分之百活着的細菌，因此，比較兩種產品，則活性微生物液的細菌數量也就不止多了一千倍了。

活性微生物液無論在何種廢水處理系統下，皆能為了生存所需的養分而與其他細菌戰鬥，若在處理已有污泥的曝氣槽中投入活性微生物液，則既有污泥的效果，不但不減退，而且能速與既有之Batch 進行交配，而形成新的 Batch，換言之，活性微生物液之投入，對既有之處理效果，不但毫無影響，而且，還能加速進行其處理效果。目前韓國已有使用，可圓滿解決廢水處理問題，（處理後 BOD 20 PPM, COD 30 PPM 以內）。此種活性微生物液除了上述之效果外，還有減少 COD, BOD, SS 99%的效果以及

- ①減低污泥之產量。
- ②減少曝氣量。
- ③增加廢水處理廠之處理容量。

此種活性微生物液以 1 加侖為單位，裝在塑膠罐，使用起來極為方便。故可節省用於污泥搬運處理、機械操作及維護等廢水處理廠所花之費用。

活性微生物液中所含的細菌羣 (5×10^7 Cells/ml) 其中含有的 7 枝菌羣，即 Saprophytic Bacteria，它是生存於自然（土壤、河川）的細菌，廢水處理的工作，即是由這些細菌的活動來完成。

1. Bacillus 製造外泌酵素 (exoenzyme)，並分解蛋白質、脂肪、澱粉。
2. Pseudomonas 2 枝菌羣除了可將 NH_3 轉成 N_2 的去氮化作用，尚有分解其他不同有機物之能力。
3. Nitrobacter 可將氨，氧化為 NO_2 ，再氧化為 NO_3^- 。
4. Aerobacter 在嫌氣性狀況下，可將碳水化合物分解為糖類，而且它的分解力是甚佳的。
5. Cellulomonas 具有破壞纖維素的能力。
6. Rhodopseudomonas 係一在嫌氣性下，光照下可形成紅色色素而成長的細菌。

* 臺灣環境科學公司董事長

以上細菌的培養 (Bacteria Culture)，是在曝氣狀態下，以 30°C 的溫度下，使它們成長十二小時，再添加 Na_2S ，然後在 35°C 的溫度下，讓它們繼續成長，最後才培養出 90% 以上的原始菌種而 Na_2S 之添加是爲了防止細菌的衰老以及保持細菌兩年以上的生命力。

活性微生物液中細菌所執行功能

1. Bacillus Bacteria 不論有無氧氣，均可分泌外酵素 (Exoenzymes) 將不可溶之脂肪裂解成水溶性脂肪酸和甘油，然後脂肪酸可進一步被好氧性細菌所利用而甘油可經由 Aerobacter 發酵之。
2. 當使用 NO_3^- 取代 O_2 當作氧化劑或最後電子接收劑則 NO_3^- 被轉化爲氮氣和水，細菌不能使用氮氣來生長，它們需要 NH_3 或尿酸態氮來生長，從系統中移去 NO_3^- 意思即從系統中移去 Algea 之氮源而厭氣呼吸被活性微生物液中之 2 枝 Pseudomonas 所執行。系統中其他氮利用反應以供給能源代謝是氮移除方法之一。
如 NH_3 於好氣性下被氧化爲 NO_2^- ， NO_2^- 進一步被 Nitrobacter 氧化爲 NO_3^- ， NO_3^- 然後於下階段反應中做爲最後電子接收劑，整個循環可於系統中供給實質氮化物移除。
3. 硫化物於水中是合成蛋白質的硫來源之一，硫化氫於生物和化學之喜氣反應，氧化成硫酸。硫化氫係經由厭氣呼吸由硫酸還原得到亦可經由厭氣光分解作用氧化之。
4. 複合碳水化合物可被 Bacillus 分解成糖類，然後大部份生物 Aerobacter 和 Pseudomonas 於好氣性下可將糖類氧化成 CO_2 。Aerobacter 於厭氣性下，可將糖類發酵。
5. 蛋白質可經由 Bacillus 裂解成縮氨酸 (Peptide) 和胺基酸 (Aminoacid) 爲活性微生物液中大部分微生物生長所利用。
6. 經由厭氣分解之脂肪、蛋白質和碳水化合物形成 BOD，BOD 再經由 Bacillus 和 Pseudomonas 去除之，懸浮固體 (SS) 經由 Bacillus 分泌之酵素作用移除一大部份。

活性微生物液使用於下水處理

1. 可以去除 95% 以上的 BOD，在活性污泥廠裏則可去除 99%。
2. 可去除 95% 以上的 S. S. 氮在活性微生物液中可去除 60% 左右。而更高比率的去除效果，則需在高溶氧之二級沉澱池中才可。
3. 硝酸鹽在活性硝化 (Active Nitrification) 期間濃度會上升，但在活性微生物液脫硝化作用 (Denitrification) 時下降。
4. 減少污泥沉降時間及污泥體積。
5. 磷酸鹽在 Bacteria 之新陳代謝中去除。
6. 可去除 H_2S 及處理槽內渣滓等，因此不必清理處理槽。
7. 最後放流水溶氧之上升，有助於降低 BOD 與 SS。
8. 平均植種 (Seeding) 應每日投入總廢水量之 1~2 ppm。

使用於有機廢水時之優點

1. 可消除 BOD 之負荷，脂肪之堆積、氨之過濃，藻類之濃度，以及污泥之負荷。
2. 嫌氣性、好氣性及嫌氣—好氣性三羣菌種，可將構成 BOD, COD, SS 之主成份去除99%以上，且使污泥減少40%。
3. 在 BOD 之曝氣狀態下，可使固體物之生成減少到最低（相對於所消除的 BOD 之量），在處理廠之不規則變數狀態下，可減少污泥齡 (Sludge Age) 或平均細胞停留時間 (Mean Cell Residence Time)。
4. 減少有機物不完全分解腐爛之惡臭。
5. 因為可以去除各種化學物質，如酚，福馬林，碳氫化合物（二元醇，木質素），因此，也適於含化學物質之廢水處理。
6. 可以加速特殊酵母廢水之機能與集中性的處理能力，以及連續反應處理能力。
7. 在 BOD 20,000 PPM, COD 30,000 PPM 高濃度中，可直接投入處理。
8. 可直接投入厭氣消化槽，滴濾池，活性污泥槽。
9. 對於二級處理系統而言，目前大都使用延長曝氣法，接觸穩定法，完全混合法及滴濾池等，若直接投入活性微生物液，則效果會更佳。
10. 活性微生物液所處理範圍以 PH 4.5~9.5，溫度 0°C~60°C。可謂甚廣，而且，廢水處理之運轉也甚為容易。
11. 由於活性微生物液無毒，無刺激性，非病原體之故，因此不必在放流水中殺菌。
12. 腐爛性的廢水，可用活性微生物液的嫌氣性菌種來處理。
13. 平均投入量是每 400 PPM BOD 倒入 1 PPM 即可。

廢水處理廠操作管理(四)

旋轉生物接觸法

歐陽嶠暉*

一、前言

廢水生物處理方法之選擇上，定性的比較項目包括有(1)污泥產生量、(2)消耗能源、(3)用地面積、(4)機械設備、(5)操作人員數及、(6)操作技術等。而在各種生物處理法中，旋轉生物接觸法因具有較傳統標準活性污泥法及修正法，產生污泥量少、消耗能源少、用地面積小、機械設備構造單純、所需操作人員少、不須較高之操作技術等特性，而漸被重視和採用。各種生物處理法主要項目之定性比較如圖一。

依據資料統計，截至1981年底，美國由主要4家公司所承建之旋轉生物接觸法處理設施已有518處，處理量360萬 m^3/d ，其中有446處處理設施(80%)處理量95%(340萬 m^3/d)為處理都市污水，而其中有40%(119萬 m^3/d ，130處理廠)處理至硝化、脫氮。而日本截至1982年12月底，已有1,700處旋轉生物接觸法處理設施在操作中(處理量46萬 m^3/d)，其中處理生活污水佔54%(約25萬 m^3/d ，940處理設施，生活污水中公共下水道13處理設施(約11萬 m^3/d)，其他為社區污水處理)。而其他則為產業廢水處理設施。

旋轉生物接觸法在國內的第一座處理設施完成於1978年6月，截至目前已興建完成的處理設施共有10處，共處理廢水量40,500 m^3/d ，另已完成設計者有3處，共處理廢水15,700 m^3/d 。處理對象廢水包括塗裝廢水、皮革廢水、染整廢水、牛乳廢水、生活污水、畜牧廢水、動物園廢水及工業區綜合廢水等，(如表一)。

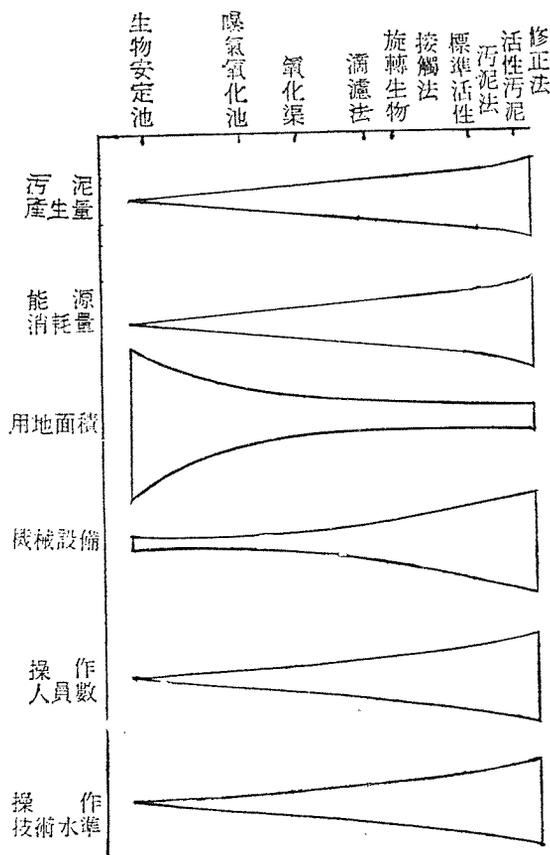
旋轉生物接觸法由於應用化為時不長，其操作管理技術尚未如活性污泥法已確立有一套操作準則。筆者經就參考文獻有關國外實際廠在操作上所發現之問題，並遍訪國內10處已完成之處理設施，與操作人員充分檢討操作上之諸問題，試擬一操作上之對策，藉供爾後之參考，使本操作簡單，節省動力的生物處理法，得以落實，期對臺灣地區水污染防治有所助益。

二、旋轉生物接觸法之操作管理

旋轉生物接觸法之處理原理及影響處理之因素，已述於本刊第一期，在此不再贅述。

* 國立中央大學土木工程學研究所教授兼所長

* 本小組委員



圖一 各種活性污泥法之定性比較

一般活性污泥法的操作，應就流入廢水的性質，隨時調整控制。旋轉生物接觸法圓盤上的生物膜，則可依流入水之性質，形成一自然生態的變化，因之旋轉生物接觸法不須如活性污泥法要調整曝氣槽之 MLSS 濃度、溶氧濃度及迴流污泥量。而本法之操作管理以帶動圓盤旋轉之驅動裝置為操作管理之重點。

本處理設施在操作上應定期檢視、維護之內容及檢修維護之項目如表二。

三、旋轉生物接觸法之水質管理

生物處理之操作，着重於經常性之觀察，由外觀生物膜之變化並輔以水質分析，探尋異常之原因以為因應之對策。

3.1. 水質檢驗項目

本處理法操作管理上應檢測之水質、水量項目包括：

(1) 流入水量及流量之時間變化。

表一 臺灣地區旋轉生物接觸法處理設施設計規格

(72年7月現在)

處理設施	廢水性質	處理量 (m ³ /d)	流入水質 (mg/ℓ)	處理水質 (mg/ℓ)	設計負荷 (gBOD/m ² ·d)	圓盤直徑 (m)	直度 (mm)	材質	間隔	G值 (ℓ/m ³)	轉速 (rpm)	段數	總軸數	軸長	總面積 (m ²)	備註
裕隆汽車廠	塗裝廢水	300	COD 650	COD 150 以下	38g COD/m ² ·d	1.8	15	發泡體 PE	15	—	3.5	5	5	—	6,300	
彰聯皮革廠	製革廢水	100	BOD 500	BOD 100 以下	100	0.8	12	發泡體 PE	12	6.8	9	3	3	—	500	
臺農酪乳廠	牛乳廢水	500	BOD 250~500	BOD 100 以下	110	1.8	15	發泡體 PE	15	4.7	—	3	3	—	1,280	已不使用
榮豐皮革廠	製革廢水	150	BOD 450	BOD 100 以下	62.5	1.8	0.5	六角形 PE	25	—	3	4	4	—	1,200	已拆除
臺糖埔里畜殖場	養豬廢水	400	BOD 989	BOD 100 以下	42	3.72	1.1	長溝形凹凸面 PE	10~60	4.46	1.6	4	4	4.24	1,860	
遠東染整廠	染整廢水	500	BOD 600	BOD 100 以下	20	3.72	1.5	長溝形凹凸面 PE	10~60	4.46	1.6	2	2	4.24	9,290	
民生污水廠	都市污水	2,000	BOD 160	BOD 30 以下	12	3.72	1.1	長溝形凹凸面 PE	10~60	4.9	1.6	4	4	5.75	26,000	
電訊訓練所	生活污水	50	BOD 160	BOD 30 以下	6.0	2.0	1.2	凹凸面 PE	25	6.4	3	1	4	5.8	6,300	
嘉太工業區	綜合工業有機廢水	2,500	BOD 200	BOD 70 以下	7.5	3.6	1.37	半球形盤面	19	3	1.6	3	3	5.91	26,000	
民雄工業區	綜合工業有機廢水	16,000	BOD 350	BOD 100 以下	6.0	3.72	1.1	高密度凹凸面 PE	10~60	4.9	1.6	4	40	7.9	929,000	
大園工業區	綜合工業有機廢水	7,500	BOD 300	BOD 100 以下	13.6	3.72	1.1	高密度凹凸面 PE	10~60	4.9	1.6	4	16	5.8	104,000	施工中
萬壽山園	動物污水	2,200	BOD 212	BOD 100 以下	20	3.72	1.2	高密度凹凸面 PE	10~60	4.9	1.6	3	3	4.24	13,920	發包中
新竹工業區	綜合工業有機廢水	6,000	BOD 160	BOD 30 以下	7.8	3.60	1.2	長溝形凹凸面 PE 板	25	—	1.0~1.3	4	10	7.8	125,600	設計中
五甲社區	社區污水	8,400	BOD 160	BOD 20 以下	15	3.60	1.2			6.1	—	3	8	7.9	74,320	發包中
幼獅工業區	綜合工業有機廢水	3,300	BOD 160	BOD 20 以下	10	3.60	1.2			6.0	—	4	8	7.9	52,000	發包中

表二 旋轉生物接觸法檢修維護例

裝 置	檢 修 維 護 作 業	檢 修 維 護 時 間			
		每 日	每 月	3~6 月	1 年
旋 轉 接 觸 槽	生物膜之狀況	○			
	臭 氣	○			
	異常聲音有否	○			
	馬達有否發熱	○			
	主軸油脂之補給		○		
	減速機、鏈條油之點檢		○		
	油脂之交換			○	或 ○
	槽底部之污泥狀況 整體總維護		○		○
沉 澱 槽	污泥之堆積有否	○			
	浮渣之發生有否	○			
	浮渣之去除	○	或 ○		
	溢流狀況	○			
	污泥排泥設施	○			
	油之點檢補給		○		
	油之交換			○	或 ○
	整體總維護				○

(2)流入水之水質 (BOD 或 COD) 及時間變化。

(3)流入水之 pH 值、溫度、溶氧量。

(4)處理水之水質 (BOD 或 COD)，包括 SS。

(5)各段接觸槽之溶氧量。

(6)生物膜之色澤及生物附着、剝落狀況。

(7)流入廢水中之還原物質濃度。

以上諸項目之量測，皆為輔助正常操作之依據，應每日定時觀察、量測，詳加記錄。

3.2. 異常狀態之原因及對策

旋轉生物接觸法異常現象之原因及對策如表三。

表三 異常現象之原因與對策

	異常之現象	生物膜之外觀變化	異常之原因	對策
1	圓板槽內發生厭氧狀況並有硫化氫臭氣。	1.流入及流出側之生物膜較厚 2.生物膜呈黑色	超負荷	1.減少流入污水量 2.增加流量調整槽之曝氣以提高溶氧量
2	生物膜急速剝落，處理水水質變差。	生物膜全面剝落，沒有正常的生物膜	1.水量 BOD 負荷變化太大。 2.污水基質或 pH 變化	1.校核流量 2.測定污水 pH 3.分析 BOD、COD及有害物質。
3	發生異常微生物及多量的硫化氫	1.圓板全體增殖呈現白色半透明狀膜。 2.接觸槽內之 DO 小於 0.1mg/l	1.負荷太高 2.微生物不易吸收氧 3.含有多量還原性物質 4.營養平衡不佳	1.供給多量空氣入流量調整槽。 2.提高 pH 值 3.改善營養平衡
4	接觸槽內呈現紅色塊狀懸浮物。	1.貧毛類微生物異常發生 2.圓板上生物膜甚薄	1.負荷過低 2.處理水 BOD 低	1.增加流入污水量 2.避免假日流入量之減少
5	處理水水質差	圓板上之生物膜並無變化	1.負荷之變化未能被吸收 2.流入水水溫低 3.污水之基質成分	1.流量適當調整 2.提高水溫

四、案例之問題與改善投術

旋轉生物接觸法操作案例及其問題和對策，經整理如次：

1. 起動操作培養生物膜

首先將擬處理水引入接觸槽，填滿至設計水深後，旋轉生物接觸圓盤，初期引入量以設計量 (m^3/d) 之五分之一，其後依生物膜之增殖狀況，漸次增加每日流入量，直至生物膜已達正常增殖，始依設計量，引入原廢水。

2. 廢水溫度過度，生物無法增殖

旋轉生物接觸法，尤其是凹凸板狀之圓盤，由於散熱效果較差，不適宜處理溫度較高之廢水，否則生物膜不易生長，廢水溫度超過 35°C 以上時宜先予以降溫。

3. 利用石灰調整原廢水之 pH 問題

石灰應用於皮革製造塩漬，也應為調整 pH 和做增重劑。經添加石灰後廢水中之氫碳酸鈣容易附着於圓盤之表面，結成堅硬厚殼，致使片板間之間隙減少，造成通風不良及生物膜間易粘着而引起有效表面積減少並發臭，更增加軸之負載，為造成主軸或副桿折斷之原因之一。

凡原水有此等問題者，應先加充分檢討或改以其他鹼劑調整 pH 值。

4. 原設計流量或濃度偏低，致影響設備之正常運轉

原設計流量和水質濃度之估計，與實際操作之流量或濃度偏低很多，於操作後發生超負荷，流量超負荷生物膜不易成長，濃度超負荷則生物膜過份積厚，增加主軸或副桿之負載，或片板傳動遲滯、磨耗，致造成軸桿斷裂或片板傾斜搖幌不均勻等問題。

濃度過高可將廢水分成二段或三段流入，以減輕第一段之負荷。

5. 廢水沿軸向流入，主軸負載不均致斷裂

廢水沿軸向流入，若軸為兩點支承，則流入端生物膜厚，流出端薄，造成主軸負載不均而斷裂。

廢水應與軸成垂直向流入為宜，尤其是單段式應避免廢水延軸向流入。但亦可於兩支點間增一支持點，或在操作管理上對於較肥厚者予以刷洗剝落之。

6. 停電後之操作造成軸折斷

停電或傳動設備故障，容易造成露出部份圓盤上之生物膜乾燥、剝落，於起動時因失去平衡，致主軸承受過大負載而折斷。

停電或短時間停止操作時，應附有可以手桿帶動之設備，定時帶動輪流浸水，以防不均勻剝落。或於起動時以壓力水將較肥厚部份刷洗剝落以減少厚度。

7. 最終沉澱池污泥上浮

流入最終沉澱池處理水之 SS 約 100mg/l 左右，由於濃度低，沉澱污泥抽水時間間隔長，致容易腐敗而上浮，間隔短則含水率高。

最適排泥間隔及排泥時間，應依污泥產生狀況，設置定時器，每 2~4 小時排除污泥一次為宜。

五、結 語

旋轉生物接觸法應用化為時不久，其操作技術之問題有待經驗之累積和克復，本文謹就與操作有關者，予以彙整，提供就教於現場操作者，至於設計上有關之缺失，已發表於生物膜廢水處理研討會「生物膜廢水處理程序之展望」報告集（國立中興大學環境工程系印行，中華民國七十二年七月），在此不再重複。本文之完成承各處理設施之原設計者及管理者鼎力支持，始得逐廠完成調查訪問並探討問題，在此敬致謝意。

滴濾法在廢水處理之應用

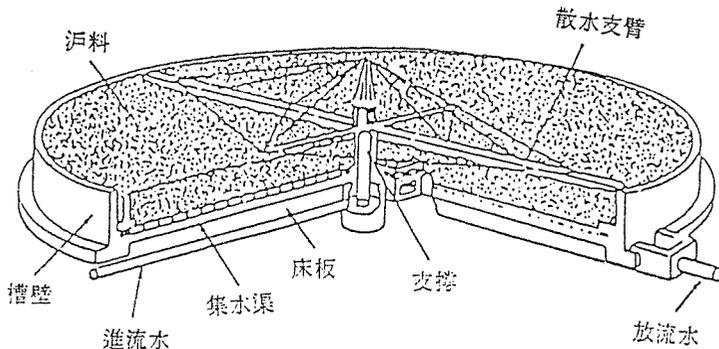
陳秋楊*

一、前言

滴濾法是最早被採用為處理有機性廢水的生物方法之一，第一個滴濾池於十九世紀末葉開始在英國使用，直到二三十年前，滴濾池的型式仍與最初使用者沒有任何改變，此後，由於塑膠濾料的開發，具有降低建造費及對突增負荷較高的忍受能力，而又逐漸引起重視，尤其在北歐許多國家，仍以滴濾法為標準的家庭污水二級處理法，其主要優點在於：生物膜自行調整的能力甚強，操作容易，且消耗動力較少。

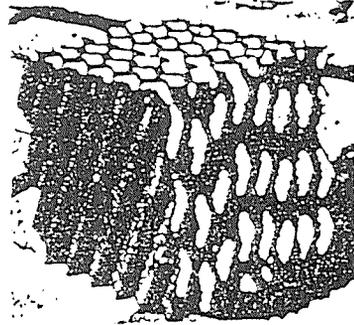
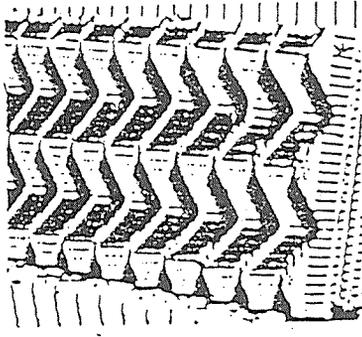
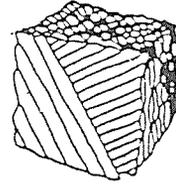
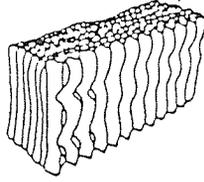
滴濾法與活性污泥法一樣，已有許多研究學者不斷地探求最佳的模式以供設計與操作之用，但直到今日，滴濾法仍無一被大多數人公認的最佳模式，其主要原因在於：(1)濾料內水流特性相當複雜，(2)廢水中的基質特性常變化不定。大部分學者認為，在滴濾池中的生物膜成長過程為一動態系統，不似懸浮生長的活性污泥系統較接近定常狀態，故可用較簡易的模式來分析，尤其對週遭環境改變或廢水特性發生變化時，很難有完善的對策來預估可能的處理結果，這也是活性污泥法較廣被採用的原因之一。

滴濾法早期使用碎石（或卵石）濾料（如圖一），對廢水處理能力較低，自從採用塑膠濾料（如圖二）後，再加以對使用能源的考慮，未來在廢水處理上滴濾法仍應有其一席之地。本文旨在介紹以往國內有關滴濾法的研究結果，在實廠操作上的應用，及探討其在臺灣地區發展的可能前途，以供為解決水污染的參考。



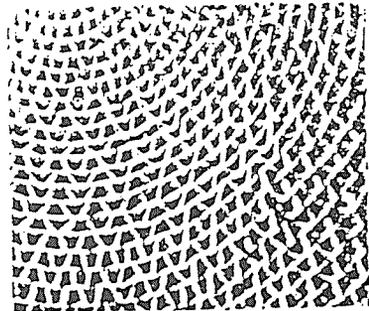
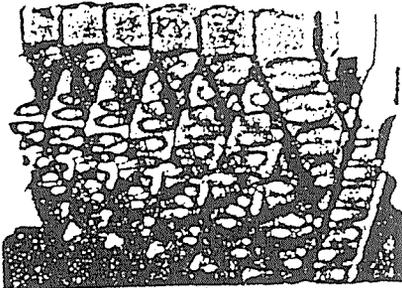
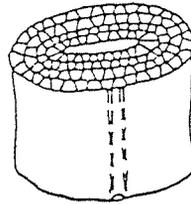
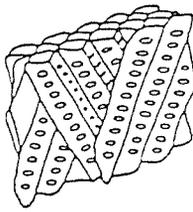
圖一 碎石濾料滴濾池

* 國立中興大學環境工程系教授兼主任
本小組委員



(1) Flocon

(2) BIOdek



(3) Trellebor

(4) Hydropak

圖二 滴濾池常用之塑膠濾料

二、臺灣地區研究成果

早期有關滴濾法處理廢水之研究計有成功大學土木工程研究所碩士論文：黃建章之間歇砂濾法⁽¹⁾，黃慶三之球形塑膠濾料滴濾池⁽²⁾，李六郎之卵石濾料滴濾池⁽³⁾等，以及利用塑膠濾料滴濾池處理工業廢水之研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾，以上皆於1971年以前完成者，此後約有十年，國內鮮有研究滴濾法以處理廢水者。最近，由於滴濾法在國外又受到重視，塑膠濾料不斷改良及節約能源之考慮，臺灣地區採用塑膠濾料滴濾池處理廢水的研究成果如下：

1. 研究題目：滴濾池處理屠宰廢水之研究⁽⁶⁾

(1) 實驗裝置

以壓克力製反應槽， $18\text{cm} \times 18\text{cm} \times 270\text{cm}$ ，二槽串聯成二段式滴濾池，中間設置間歇沉澱池，濾料採用 Munters 公司 BIO dek27060 塑膠濾料，比表面積為 $98\text{m}^2/\text{m}^3$ ，孔隙率98.1%，濾料有效高度為2.4m。

(2) 實驗廢水

取自屠宰場所排放廢水，先經分散式空氣浮除法以降低油脂濃度，同時添加混凝劑增進浮除效果，最佳pH為6.0~7.0，若添加硫酸鋁 $300\text{mg}/\ell$ 及氯化鐵 $30\text{mg}/\ell$ ，則去除效果油脂為50%，BOD為42%，COD為51%，SS為60%

(2) 實驗結果

①水力負荷（流量對濾池面積負荷）愈大，廢水停留時間愈短，故有機物之去除率降低，其結果如下所示（進流水BOD濃度為 $113\text{mg}/\ell \sim 457\text{mg}/\ell$ ）：

水力負荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)	14.3	22.2	30.2	42.8
第一段	55.4	44.7	43.3	41.7
BOD去除率 第二段	53.4	51.7	52.7	50.7
合計	78.8	73.2	73.6	70.4

②BOD對濾料面積負荷愈大，去除率愈小，但 BOD 去除量則隨之成線性關係增加，若欲放流水BOD小於 $100\text{mg}/\ell$ ，則BOD對濾料面積負荷不可大於 $21\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ （或對濾料容積負荷不可大於 $2.1\text{kg}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$ ）。

③氨氮去除率(Y)與BOD對濾料面積負荷(X)之關係如下：

$$\log Y = 1.954 - 0.032X$$

式中Y以%表示，X以 $\text{g BOD}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 表示。

2. 研究題目：以塑膠濾料滴濾池處理奶品廢水之研究⁽⁷⁾

(1) 實驗裝置

本研究採用設備與前述研究為同一裝置，於此不再贅述。

(2) 實驗廢水

以工業用奶粉配製合成廢水，奶粉濃度為 $1\text{mg}/\ell$ 時，溶性BOD為 $580\text{mg}/\ell$ ，非溶性BOD為 $1000\text{mg}/\ell$ ，油脂 $64\text{mg}/\ell$ ，TKN為 $30\text{mg}/\ell$ ，而BOD/COD之比值為0.7。

(3)實驗結果

- ①BOD去除量與BOD 對濾料面積負荷成正比線性關係，其斜率比值約為0.6。
- ②本研究於水力負荷約為 $22\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 時，獲得最佳有機物去除率，水力負荷太高，有冲刷現象發生，水力負荷太小，則濾料有效利用面積減少。
- ③有迴流時，水力負荷隨之增加，故若有機負荷因而提高，則得較大的有機物去除量，但若以去除率表示則為降低。
- ④總凱式氮的去除率平均為55%，隨水力負荷或BOD對濾料面積負荷之增加而減少。

3. 研究題目：應用國產濾材之活性生物濾床處理有機廢水之研究⁽⁸⁾

(1)實驗裝置

本研究採用近年來在美國所發展之活性生物濾床法（簡稱ABF），其流程如圖三所示，均勻池容積3公升（ $10\text{cm} \times 23\text{cm} \times 17\text{cm}$ ），曝氣池容積42公升（ $46.5\text{cm} \times 23\text{cm} \times 25\text{cm}$ ，二池串連），沉澱池容積6公升（直徑 $17\text{cm} \times 40\text{cm}$ ），生物塔為 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 200\text{cm}$ ，內裝臺灣杉為濾料，為 $9\text{cm} \times 4\text{cm} \times 1\text{cm}$ 之二塊木板下面墊以二根為 $1\text{cm} \times 1\text{cm} \times 9\text{cm}$ 之木條釘成一個單元，每組共90個單元，每次實驗以不同的木板排列，即分平行排列與交叉排列進行探討。

(2)實驗廢水

以 peptone 為主配製之合成廢水，其 BOD 濃度約 $150 \sim 2400\text{mg}/\ell$ ，COD 濃度為 $200 \sim 3000\text{mg}/\ell$ ，工業廢水試驗則取自麥芽工廠的廢水，其主要成份為單寧，廢水中溶解性 BOD濃度為 $170 \sim 240\text{mg}/\ell$ ，溶解性 COD 濃度為 $180 \sim 300\text{mg}/\ell$ ，懸浮固體物為 $85 \sim 200\text{mg}/\ell$ 。

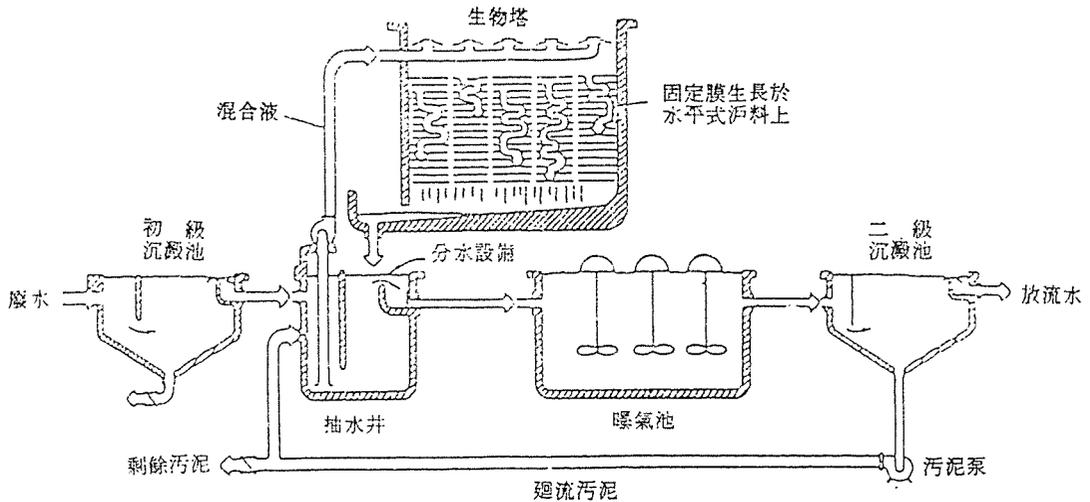
(3)實驗結果

- ①當水力負荷為 $53\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 時，利用合成廢水不同進流水COD濃度情況下，獲知濾料之木板平行排列比交叉排列可得較佳的處理效率，茲將以平行方式排列的處理結果列如下表：

有機負荷 (kg BOD/ $\text{m}^3\text{-d}$)		1.30	2.37	3.37
去除率 (%)	生物塔	71.4	65.6	65.8
	曝氣池	87.3	81.9	82.2
	合計	96.4	93.8	93.9

- ②處理麥芽工廠廢水時，進流水COD濃度為 $200 \sim 300\text{mg}/\ell$ ，懸浮固體濃度為 $85 \sim 200\text{mg}/\ell$ ，經活性生物濾床法之COD處理效率為93.1%，處理水中 COD 及懸浮固體濃度均在 $20\text{mg}/\ell$ 以下。

4. 研究題目：蜂巢管滴濾塔處理乳業（高溫）有機廢水研究⁽⁹⁾



圖三 活性生物濾床法處理流程

(1) 實驗裝置

本研究利用二段式滴濾塔內置蜂巢管體，為PVC製六角形，比表面積為 $200\text{m}^2/\text{m}^3$ ，孔隙率為97%，各段有效塔高為2 m。廢水先經集水槽及混合槽後進入二段式滴濾塔處理，再由沉澱池排出，迴流水則由排出水迴流至混合槽內。

(2) 實驗廢水

利用鮮乳加工廠綜合廢水為處理對象，因其 BOD : N : P 約為 100 : 8.6 : 3.5，故實驗時未再添加其他營養劑，BOD 濃度為 $250\sim 500\text{mg}/\ell$ ，COD 約為 $350\sim 850\text{mg}/\ell$ ，水溫為 $35\sim 55^\circ\text{C}$ ，pH 則為 3 ~ 11。

(3) 實驗結果

- ① 第一段處理 BOD 之平均去除率達 68%，再經第二段處理後平均總 BOD 去除率則為 79%。
- ② 迴流率為 100% 為宜，增加迴流率時，其 BOD 去除效果並無顯著增加。
- ③ 利用二段式處理時，BOD 去除率欲達 80% 以上，則散水負荷（對池表面積而言）應小於 $30\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ （含迴流量）。
- ④ 若放流水 BOD 濃度標準為 $100\text{mg}/\ell$ 時，採用一段式滴濾塔之 BOD 面積負荷（對濾料表面積而言）應小於 $18\text{gBOD}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ ，而採用二段式滴濾塔之 BOD 面積負荷，則應小於 $25\text{gBOD}/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 。

三、臺灣地區滴濾池設施概況及問題探討

(一) 設施概況

本省家庭污水處理採用滴濾法而現仍繼續操作者僅中興新村（中正路）污水處理廠一處，平均 BOD 去除率約為 85%，為傳統式碎石濾料滴濾池，目前操作尚稱正常，最近剛完成散水設備

及濾料之更新，處理功能極佳。

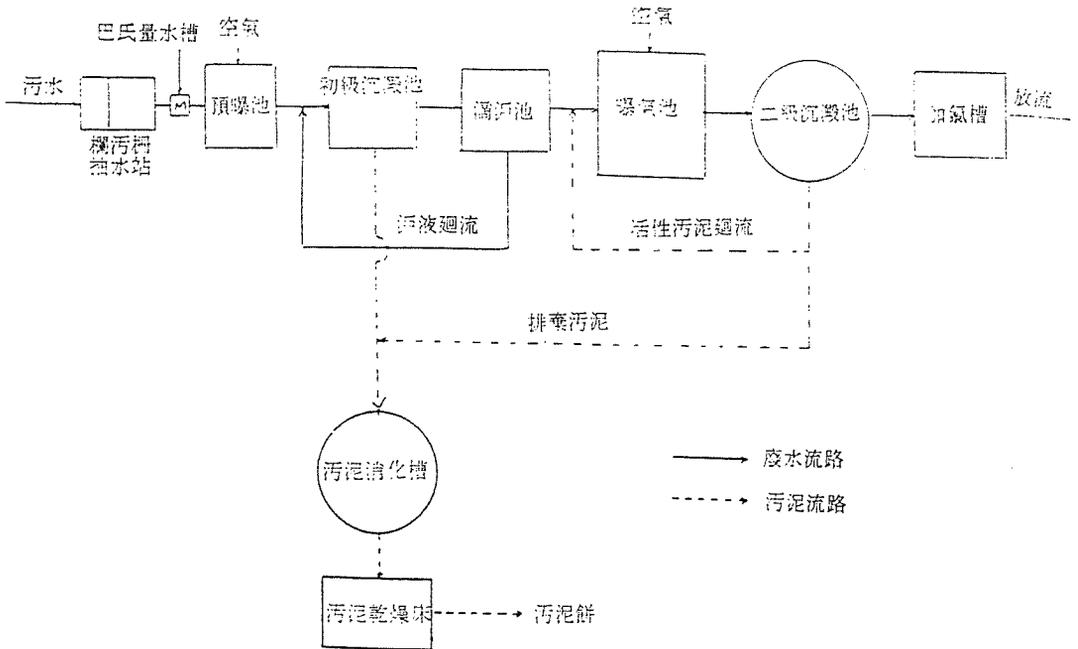
工業廢水處理採用滴濾法者計有六堵工業區、龜山工業區、與內壢工業區，今分別介紹如下：

1. 六堵工業區

六堵工業區污水處理廠為本省工業區之第一座污水處理廠，於民國五十二年開始操作，因廢水量與水質超出估計，且因施工與操作管理不當，幾乎無任何處理效果，雖於民國五十八年加以翻修並改變流程以解決油脂過多問題，處理效果仍不甚理想。民國六十五年十二月取樣結果，進流水BOD濃度為289~980mg/l，而處理水經沉澱後BOD為235~278mg/l；另於民國六十八年一月取樣分析得，進流水BOD為1250~7440mg/l，而處理水沉澱後BOD為800~1840mg/l，實已遠超出滴濾池的處理能力，故最近甫完成改為活性污泥法而停用滴濾池，目前正試俾中。

2. 龜山工業區

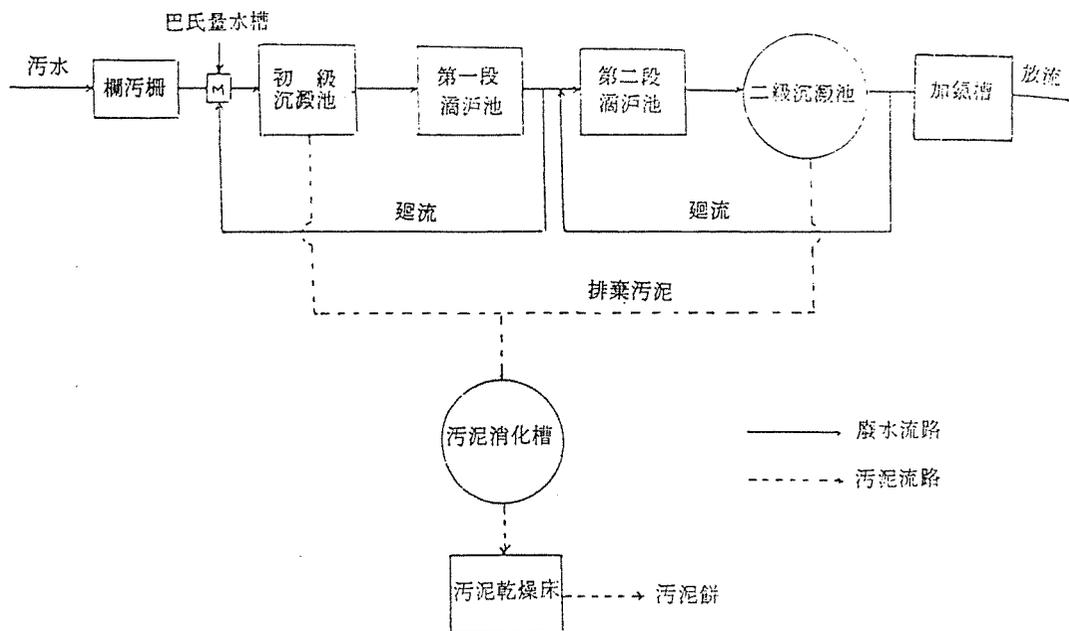
龜山工業區污水處理廠採用滴濾池串聯活性污泥法之二段處理（如圖四），滴濾池內置碎石濾料，於民國五十八年建造完成，而自民國六十一年十一月開始試俾運轉，亦因進流廢水量及水質與設計時之估計值不符，故處理效果一直未能理想。於民國六十五年十月取樣結果，滴濾池（含初沉池）之BOD去除率約僅18%，民國六十七年十一月全廠處理水之BOD濃度仍高達345mg/l，部分原因為廠內處理單元沉積大量污泥，由於厭氧分解作用而釋出有機物，致反而使溶性有機物濃度較原廢水中為高。



圖四 龜山工業區污水處理廠流程

3. 內壢工業區

內壢工業區污水處理廠採用二段式滴濾池（如圖五），於民國五十八年興建完成，民國六十一年開始試運，亦因規劃設計時缺乏足夠資料，故實際廢水流量與水質出入極大，操作結果不甚理想。民國六十五年十月取樣結果，進流水 BOD 濃度 $52\text{mg}/\ell$ ，最終沉澱池溢流水 BOD 為 $47\text{mg}/\ell$ ，民國六十七年十二月取樣分析，進流水 BOD 為 $52\text{mg}/\ell$ ，處理水 BOD 為 $31\text{mg}/\ell$ ，第一次因進流廢水 pH 較低而抑制滴濾池之效率，第二次則因進流水中油脂含量太高（約為 $260\text{mg}/\ell$ ），而使得滴濾池之 BOD 去除率僅為 40%，較預期去除率 70% 為低。今內壢工業區之廢水已接管至毗鄰之中壢工業區污水處理廠一併處理，中壢工業區污水處理廠則採用活性污泥法，並設有調節緩衝池以均衡進流廢水之流量與水質。



圖五 內壢工業區污水處理流程

(一) 問題探討

如前述三處工業區處理工業廢水的滴濾池，均遭遇失敗的命運，筆者以為並非處理程序本身之過，而是下列數項因素所致：

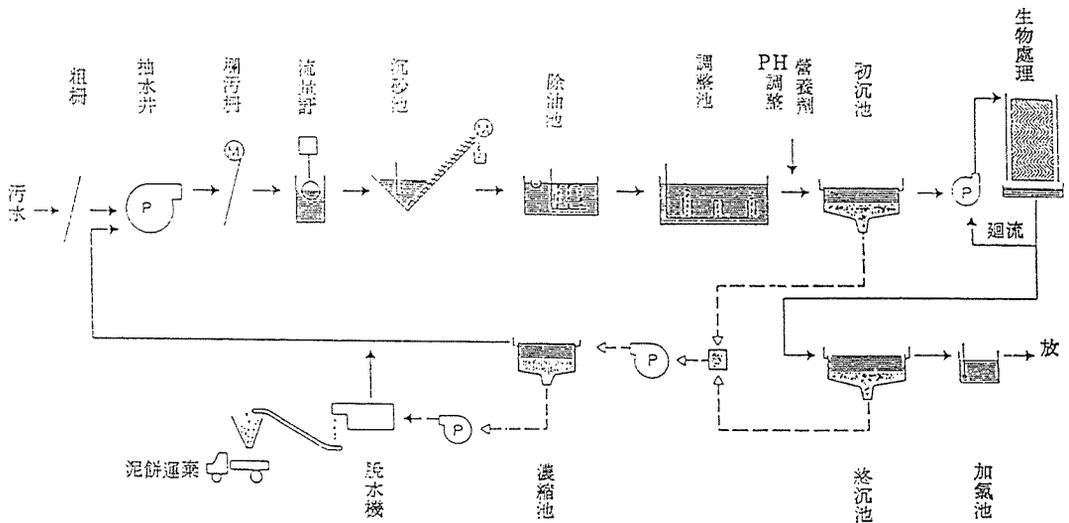
1. 工業廢水的流量與水質本就不甚穩定，採用生物處理法時應設有完善的前處理，以調節流量，並控制對生物處理有害的物質。
2. 工業廢水常缺乏某些生物處理中供微生物成長所必備的營養素，如氮與磷，必須補充足量以免抑制微生物生長而減低處理效率。
3. 進流廢水中 pH 太高或太低，油脂含量太高，重金屬濃度超出微生物可忍受之能力，或固體量太多，均可能導致滴濾池操作的失敗。
4. 操作與管理不當，處理設施缺乏維護，技術人員不足，亦是使得滴濾池無法達到預期處理

效率的原因。

5.設計經驗不足，施工不良，處理設施選用材料（如濾石之粒徑）不符合需要，亦是滴濾池無法成功的原因。

三 最近應用實例(11)

新營工業區位於臺南縣新營市，為臺灣土地開發信託投資公司負責開發的綜合性工業區，現有工廠52家，其中金屬機械類17家，塑膠橡膠類6家，水污染性較高者為皮革皮件類及食品加工類各3家，由於部份工廠尚在建廠中，故工業區內廢水流量與水質仍無法直接量測，中華顧問工程司負責污水處理廠規劃工作，初期擬採用曝氣式氧化池，第二期則將其改為調整池，其後再加二級生物處理，目前暫建議採用高率滴濾法，其處理流程如圖六所示。



圖六 新營工業區污水處理廠流程草案

四、展 望

碎石濾料滴濾池，由於通風要求及濾料比重，一般池深在2 m以內，若採用塑膠濾料，則可加大高度而減少佔地面積，塑膠濾料具有下列特性(12)：

- (1)具耐久性。
- (2)重量輕。
- (3)表面積大，孔隙率大。
- (4)由於濾料大小相同，因之廢水在濾料表面可均勻流動。
- (5)自濾池上端至底部，生物膜可均勻生長。

未來塑膠濾料滴濾池可應用於：

- (1)高濃度廢水採用活性污泥法處理時之預先處理單元。
- (2)中、低濃度廢水之二級處理（濃度較高時採用二段式流程）。

- (3)低濃度或已處理廢水之三級處理。
- (4)取代滴濾池中原使用之碎石以增進處理效率。
- (5)硝化作用及脫硝反應處理。
- (6)處理高濃度廢水時可作為沉水式濾池操作。

五、參考文獻

- (1) 黃建章；間歇砂濾法處理蔗糖廢水之研究，省立成功大學土木工程學研究所碩士論文，1967年6月。
- (2) 黃慶三；球形塑膠濾料在高速滴濾池處理之研究，省立成功大學土木工程學研究所碩士論文，1968年6月。
- (3) 李六郎；卵石濾料高速滴濾法處理效率之研究，省立成功大學土木工程學研究所碩士論文，1968年6月。
- (4) 高肇藩、李俊德；塑膠濾料滴濾池處理廢水之研究，國科會工程科學研究中心五十七年研究報告，頁235，1969年。
- (5) 李六郎，塑膠濾料高率滴濾池處理紙漿廢水，臺灣省紙漿廢水處理法之研究，頁51~66，1971年11月，國立成功大學土木工程學系衛生工程試驗室編印。
- (6) 李俊德、胡南澤；滴濾池處理屠宰廢水之研究，第七屆廢水處理技術研討會論文集，頁433~459，1982年9月，國立中央大學土木工程學研究所編印。
- (7) 鄭耀文；塑膠濾料滴濾池處理效率之研究，國立成功大學環境工程學研究所碩士論文，1983年6月。
- (8) 李公哲、戴琇帆；應用國產濾材之活性生物濾床處理有機廢水之研究，第八屆廢水處理技術研討會論文集，頁21~41，1983年9月，國立臺灣大學環境工程學研究所編印。
- (9) 黃正義、洪添丁；蜂巢管滴濾塔處理乳業（高溫）有機廢水之研究，第八屆廢水處理技術研討會論文集，頁43~64，1983年9月，國立臺灣大學環境工程研究所編印。
- (10) 羅鵬展等；工業區廢流處理之研究（Ⅲ），1980年6月，中華工程股份有限公司編印。
- (11) 中華顧問工程司；新營工業區污水處理廠工程技術服務建議書，1983年11月。
- (12) 歐陽嶠暉；塑膠濾材滴濾法之設計，工業污染防治第二期，頁100~112，1982年4月，經濟部工業污染防治技術輔導小組編印。

流動床生物膜反應槽

曾 四 恭*

一、前 言

傳統處理有機物廢水通常用懸浮生長的污泥法，或固著生長的生物膜來去除，此二方法由於受到生物濃度及接觸面積的限制，處理設備的體積很大，須要較多的土地面積。近年來發展出一種方法，大大地提高了生物濃度及接觸面積，可以在較小的空間下，完成相同的處理效果，這種方法就是流動生物床，最早使用於污水處理廠放流水的去氮處理。其方法是令生物著生於在水流中浮動的小顆粒的砂或其他介質上，由於小顆粒介質龐大的表面積，以及良好的沉降性，使得生物濃度可以高達15至 40g/l，較一般懸浮生長活性污泥法之生物濃度高出數倍，可以節省設備及土地之規模。此處理技術在國內外大部分還在實驗階段，尤其國內之經驗更少，正式在臺灣地區完成之研究只有二篇，一篇屬好氧性之處理研究，另一篇為厭氣性之處理，目前尚有三個題目正進行研究之中。因此介紹流動生物床法之展望，僅能根據這二篇研究之經驗，此處理技術之優劣點以臺灣廢水處理之環境、探討此方法在臺灣地區之可行性以及應進行之研究工作。

二、臺灣地區之研究成果

流動床應用於廢水處理，始於西元1973年起，開始時大部分限於應用脫氮及去除碳質有機質之研究，最近才把研究重點偏向於有機物之厭氣處理。臺灣地區完成之研究分別為「厭氧生物流動床處理工業有機廢水之研究」及「流體化床生物反應槽處理屠宰場廢水之研究」，研究結果分述如下：

(一)研究題目：厭氧生物流動床處理工業有機廢水之研究：

- 1.廢水：啤酒後醱酵廢水。
- 2.着床介質：砂及活性炭，砂之粒徑為0.35~0.59mm，比重2.65，孔隙率 44%；活性炭粒徑為0.4mm至0.6mm，比重1.54，孔隙率61%。
- 3.消化溫度：35°C。
- 4.試驗結果：
 - (1)生物膜之馴養
 - a 馴養初期生物膜是微生物被吸附在粒子表面而產生，其後當生物附着及生長的速度大於剝蝕的速度時，生物膜可以保持一定的厚度，穩定存在。
 - b 砂粒表面平滑，生物附着不易，加以砂床之上流速度高，且浮動不穩定，使砂床之馴養甚為困難。
 - c 活性炭床在數天馴養後，即有穩定的生物膜，並且一直維持良好的處理功能。

*臺灣大學環境工程研究所副教授

(2)處理效率

a 活性炭厭氣生物流動床處理啤酒廢水處理效率極高，體積負荷在 $50\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day}$ 以下時，COD 去除率在 90 % 以上，體積負荷增加至 $300\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day}$ ，亦有 80 % 之去除率。

b 體積負荷在 $300\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day}$ 時，仍無有機酸累積的現象，處理每公斤 COD 所產生之甲烷為 200~377 公升，甲烷菌之活性高。

(3)流動床之可揮發性懸浮固體量約為 $20,000\text{mg}/\ell$ 。

(二)研究題目：流體化床生物反應槽處理屠宰場廢水之研究：

- 1.流體化床反應槽：為內徑 2.6 公分，高 200 公分之壓克力槽。
- 2.着床介質：活性炭，粒徑 0.42~0.84mm，比重 1.5，孔隙率 40%。
- 3.廢水：屠宰場廢水經前處理後，再用流體床法處理。前處理方法為化學混凝法，於最佳加藥量條件下，約可去除 COD 26~58%，油脂 66~89%，SS 為 62~73%。前處理後水質約為 300~700mg/ℓ。
- 4.氧氣來源：純氧氣體。
- 5.試驗結果：

(1)BOD 體積負荷低時之去除率較高，負荷高時則低負荷與去除率呈線性關係。

$$\text{BOD 去除率}(\%) = 95.8 - 0.255 \text{ BOD 體積負荷}(\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day})$$

$$\text{COD 去除率}(\%) = 101 - 0.298 \text{ COD 體積負荷}(\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day})$$

(2)處理水質要達到工廠礦場放流水標準 $\text{BOD}_5 = 100\text{mg}/\ell$ 。其體積負荷應小於 $51\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day}$ ，其水力停留時間如下：

廢水 $\text{BOD}_5 = 401\text{mg}/\ell$ 時，水力停留時間 9.6 分以上

廢水 $\text{BOD}_5 = 558\text{mg}/\ell$ 時，水力停留時間 11.9 分以上

廢水 $\text{BOD}_5 = 602\text{mg}/\ell$ 時，水力停留時間 13 分以上

(3)當前處理後 BOD 濃度高時，為達到放流水標準，須用迴流方法稀釋，並可提供較高之溶氧量。

(4)出流水 BOD 濃度隨水力停留時間及迴流比增加而降低。

(5)基質 BOD 去除速率與出流水 BOD 約呈 0.72 階反應

$$\frac{Q(S_0 - S_e)}{V} = 1.137 S_e^{0.7241}$$

(6)廢水油脂負荷應小於 $3.5\text{Kg}/\text{m}^3\cdot\text{day}$ ，才可達到臺灣工廠礦場放流水標準 $10\text{mg}/\ell$ 。

三、現階段國內進行之研究專題

厭氣消化法處理廢水研究為目前行政院國家科學委員會重點研究項目之一，厭氣消化研究中，有三個專題屬厭氣性生物流動床之研究，即：

(1)以厭氣流體化床法處理人工廢水之基礎研究

李俊德 成功大學環境工程研究所

(2)生物流動床增進低溫厭氣消化效率之研究(一)

曾四恭 臺灣大學環境工程研究所

(3)高效率生物流體化床之基本研究(1)生物流體化床電腦模擬之研究

陳秋揚 中興大學環境工程學系

四、生物流動床法與其他生物處理方法比較

根據以上兩篇國內之研究成果，加上參考國外之研究資料，作下列項目之比較。

1.介質比表面積

滴濾池	12~30 ft ² /ft ³
旋轉生物盤法	40~50 ft ² /ft ³
生物流動床法	800~1200 ft ² /ft ³

2.活性污泥濃度

純氧活性污泥法	3,000~5,000 mg/l
傳統活性污泥法	2,000~3,000 mg/l
好氧性生物流動床法 (BOD去除)	12,000~20,000 mg/l
好氧性生物流動床法 (硝化)	8,000~12,000 mg/l
厭氧性生物流動床法	20,000~40,000 mg/l

3.BOD體積負荷

	lbs BOD/1000ft ³ /天	Kg BOD/m ³ /天
純氧活性污泥法	75~150	12~2.4
傳統活性污泥法	30~ 75	048~1.2
好氧性生物流動床法	500~1000	8~16

4.流動床微生物從介質中脫落量 (Sloughing) 較其他固定生物膜少。

5.反應時間短

	水力停留時間 (分)
去除93%BOD (好氧性)	16分
去除99%NH ₃ -N	11分
去除99%NO ₃ -N	<65分

6.流動床法沒有像滴濾池因生物膜剝落阻塞濾料間空隙的情形，可以減少此種水頭損失所增加之操作費用。

7.根據厭氣性處理啤酒廢水之結果，與厭氣濾池法及上流式污泥床發酵法之比較如表一，由表中可知厭氣流動床負荷很高，約為厭氧濾池的10倍。同樣處理效果之下，反應槽空間為厭氧濾池的1/10節省用地面積及空間。

表一 活性炭厭氧生物流動床、上流式污泥醱酵槽及厭氧濾池之操作特性比較

操作特性	醱酵槽種類 活性炭厭氧流動床	上流式污泥醱酵槽	厭 氧 濾 池
溫 度 (°C)	34~36	30~32	24~26
處 理 廢 水	啤酒廢水	葡萄糖和營養肉汁	啤酒廢水
去除COD 90%之最大體積負荷 (KgCOD/m ³ ·d)	100 (T=3hr)	8.4 (T=24hr)	9.9 (T=51hr)
	大於360 (T=1.5hr)	33.6 (T=6hr)	18.5 (T=25.5hr)
反應槽內揮發性懸浮固體濃度 (mgVSS/l)	20000	12000	—
迴 流	有	無	無

註：T為水力停留時間。

五、生物流動床法之優點

根據上述生物流動床法與其他生物方法之比較結果，可綜合得到下列優點：

1. 活性污泥濃度很高，可以縮短生物反應時間。
2. 可以減少反應槽體積及用地面積，節省大量的設備費用。
3. 由於具有很高之活性污泥濃度，對於突增負荷或溫度改變所產生之影響較少。
4. 對於超負荷處理廠，其處理容量的擴充很方便。
5. 生物流動床沒有滴濾池法的水頭損失。

六、生物流動床之缺點

1. 需要一相當均勻的水流分散設備。
2. 技術經驗缺乏，設計建造均較困難。
3. 操作管理需要較高的技術。
4. 迴流率大，動力需求較高。
5. 停車時會略受損害，需一段時間恢復。

七、厭氣生物流動床之優點

目前生物流動床法對廢水之處理，有偏向於厭氣處理之趨向。厭氣處理如此之受重視，只要理由如下：

1. 厭氧流動床可以產生甲烷，而行能源回收，而其他的好氧性生物處理法，則需消耗能源。
2. 厭氧流動床產生相當低的生物固體量，而減少污泥處理的問題。

- 3.厭氧流動床由於單位體積的生物量相當的高，和傳統厭氧完全混合式反應槽相比的結果，在較短的水力停留時間就有相當好的去除效率。
- 4.厭氧流動床不會有厭氧濾池過量污泥阻塞濾料孔隙，而增加損失水頭的問題。
- 5.對中濃度廢水的處理，厭氧流動床在稍短於活性污泥的停留時間之情況下，就有傳統活性污泥法的去除效果，甚至更好。
- 6.體積負荷高，約為厭氧濾池的10倍。在相同的處理量下反應槽的體積約為厭氧濾池的1/10，節省用地和空間。
- 7.可處理高濃度有機廢水，不須預先稀釋。
- 8.污泥產生量很少，無須龐大的污泥處理設備。

八、未來研究方向

- 1.厭氧生物流動床法在實際應用於處理工業有機廢水前，尚須就不同溫度、各種不同大小質料之浮動粒子介質及選擇不同的上流速度等各方面，再進行更廣泛、更深入之研究，以累積設計建廠及操作所需要的技術及經驗。
- 2.見於生物流動床對有機廢水之高處理效率，未來對低濃度工業有機廢水之處理能力也該進行研究，試以取代好氧處理之可能性，以減低處理成本及能源之消耗。
- 3.研究微生物自聚一起之可行性，以取代介質，減少需用介質成本。
- 4.配水系統之設計研究。

九、展 望

生物流動床處理技術，由國內外之研究成果可確知為一種高效率之處理方法，建設成本低、用地面積及反應槽空間小，非常適用於用地受限制之臺灣地區，尤其用於工業有機性廢水，對廠區小、用地取得困難之工廠更為有用，應該是一種很值得推展之方法。但本人認為此種處理技術要達到實際應用，在臺灣地區尚需要研究發展，比起厭氧過濾法應用所遭遇之困難更多。厭氧過濾法雖然處理效率不及生物流動床法，但却比生物流動床法在馴養及操作上均較容易，實際應用可能發生之問題較少。生物流動床進展到今天，還有許多設計以及操作上之問題尚待克服，也就是此技術於處理效率已被肯定，但處理上之技術問題尚需繼續研究及探討。

生物流動床法採用好氣或厭氣之處理方式，應該都有其優劣點，但以臺灣之環境條件看來，本人認為厭氣式之進展前途將比好氣處理為佳。由於好氣處理時受到供氧量之限制，必須提供純氧才足以維持反應槽之好氣狀態。而以臺灣目前之環境條件，純氧製造費用是難以負擔的。厭氣式不受氧氣之限制，污泥之處置問題也少，而且厭氣法除可處理高濃度之廢水外，對處理低濃度有機廢水以替代好氣式處理，亦具相當之挑戰性。因此生物流動床處理技術若能解決設計以及操作之問題，應該是可推展的一種處理廢水方法。

參 考 資 料

- (1) 曾四恭、吳先琪；厭氧生物流動床處理工業有機廢水之研究，國科會工程科學研究中心七十年研究報告，頁A—8—1～A—8—45，1982年。
- (2) 曾四恭、洪榮勳；厭氧濾池處理有機廢水之研究，國科會工程科學研究中心六十八年研究報告，頁14—1～14—45，1980年。
- (3) 王西華、馮玉蘭；上流式反應槽行分段沼氣醱酵之研究，第四屆廢水處理技術研討會專題報告，頁1—23，國立臺灣大學工學院環境工程研究所編印，1979年9月。
- (4) 李俊德、吳春生；流體化床生物反應槽處理屠宰場廢水之研究，國立成功大學環境研究所報告，1983年。

氧化深渠之簡介及其應用

廖學賢*

一、前言

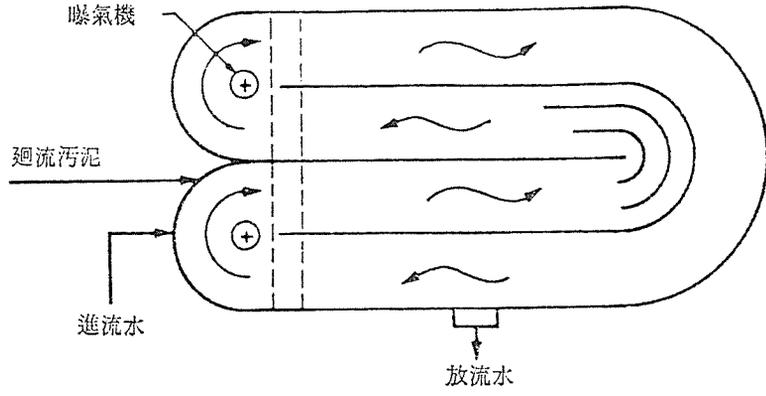
最近幾年國內大型的工業區廢水和社區污水處理，氧化深渠 (Deep oxidation ditch process) 是最被常用的處理流程，筆者於最近五、六年內，因業務上推展，幾乎參與了每一個氧化深渠的設計或施工，今特將幾年來陸續收集了有關這方面的資料論文，及個人在氧化深渠應用上的體會，草成此文。

氧化渠是德國 Dr. PASVER 在1953年研究發展而成。最初的氧化渠深1~1.5m，斷面型狀為45°梯形。曝氣器採用籠形滾水機 (Cage rotor)。由於建造簡單，操作也容易，處理效果也很好，很快在歐洲及開發中國家普遍採用。但由於氧化渠最深只可達1.5m，而籠形滾水機的供氧效率也有限，因此一般只適合於中小型的污水廠。國內早在民國五十年初即陸續引進氧化渠於中興新村、清泉崗基地及臺中黎明社區，是國內建造的最早期的污水處理廠。

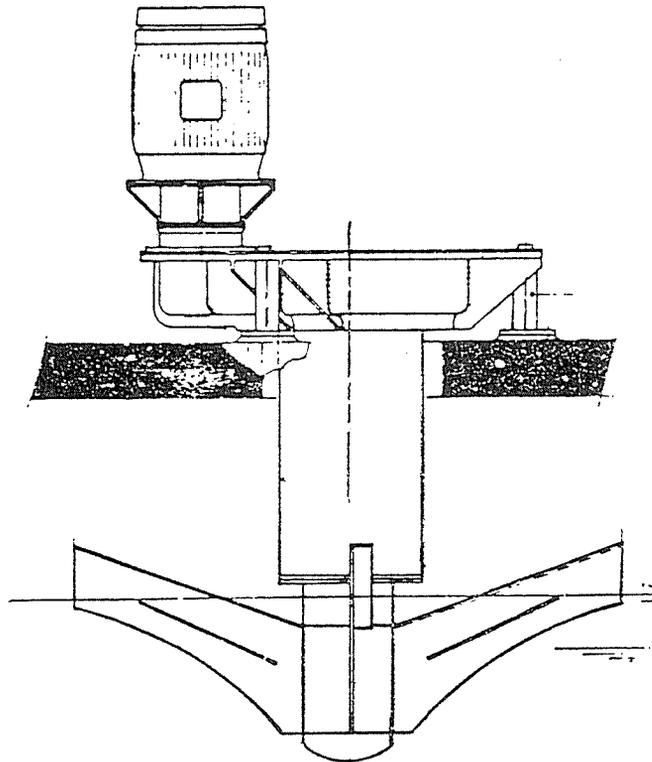
最近十餘年來，由於較高效率的橫軸巨型滾水機 (Horizontal Mammoth Rotor) 及豎軸的慢速曝氣器 (Vertical slowspeed aerator) 相繼發展改良，氧化渠已自傳統的1~1.5m渠深，提高到渠深3.5~4.0m，垂直斷面，大幅的減少了氧化渠的佔地面積。而且由於曝氣器供氧效率的提高，使氧化渠已可應用於大型的都市污水及工業廢水處理廠，廣受各污水處理先進國家使用。據統計目前氧化深渠在歐洲有2,000個，在美國約有600個，加拿大約100個。處理水量由100m³~55,000m³/day。而目前國內採用新式氧化深渠的污水處理廠共有9座，他們分別是：南崗工業區、臺中幼獅工業區、三義汽車工業區、臺中工業區、東勢鎮污水廠、內漣污水處理廠、義美食品龍潭及南崁廠、永康工業區等。另尚在規劃設計者有兩座。可見氧化深渠在國內廣受衛工界歡迎及採用。

由於曝氣器構造的差異，使氧化深渠發展成兩個不同的系統。一個係由荷蘭 Delft 工科學及DHV顧問公司共同研究，取名“Carrousel”系統，曝氣器採用豎軸的Simcar-aerator (如圖一)。另一個係由德國 Passavant 公司發展改良傳統籠形滾水機為橫軸巨型滾水機 (Mammoth rotor) 的氧化深渠 (如圖二)。目前國內9座採用氧化深渠的污水廠中，有4座之採用 Carrousel系統、5座採用Mammoth rotor的氧化深渠系統。不論採用那一種曝氣器 (Aerator)，曝氣器的功能有二，一個是提供足夠的輸氧能力給氧化渠中的微生物營新陳代謝作用，另一個目的是提供足夠的攪拌及推進的動力，使氧化渠內溶氧和微生物足夠攪拌混合，流速維持在30cm/sec以上，懸浮微生物 (MLSS) 不會沉澱。最近美國有一家顧問公司 (Burns & McDonnell) 研究了另一種曝氣及攪拌方式取名為 BMTS system，即將上述原由一個曝氣器提供兩種功能，分由兩種設備來提供。即攪拌的功能由沉水式螺旋推進器 (Submersible propeller) 來擔任，而輸氧的功能由鼓風機和散氣設備 (Blower and Diffusers) 來提供，如圖三所示，此一系統加上其沉澱設備的特殊構想，筆者將於另文詳細介紹。推展於國內衛工界。

* 水美工程企業股份有限公司總經理



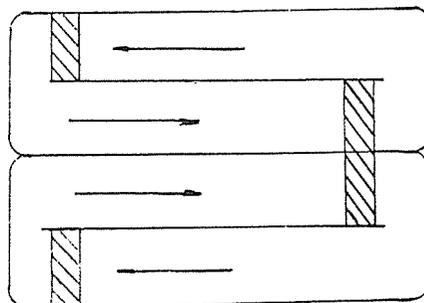
圖一a 典型的 carousel 氧化深渠



圖一b 典型的豎軸曝氣機

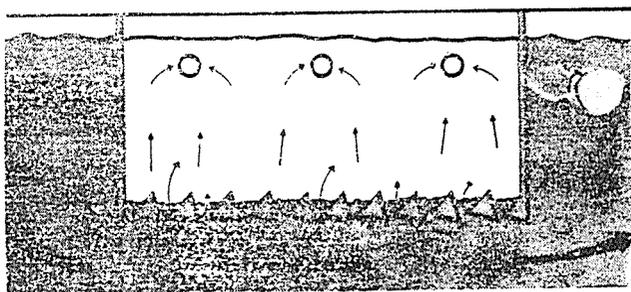


圖二a 典型的橫軸曝氣機



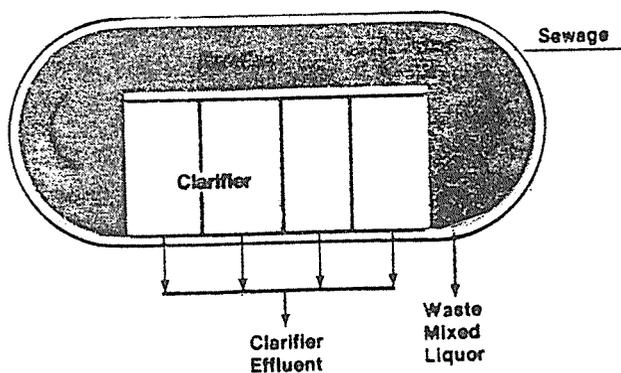
圖二b 典型的 pasver 氧化深渠

BMTS
Intrachannel Clarifier



圖三a 典型的 BMTS 平面圖

BMTS
Intrachannel Clarifier



圖三b 典型的 BTMS 沉澱設備

二、設計之考慮條件

氧化渠不論採用何種曝氣及攪拌方式，基本上氧化渠是屬於活性污泥法中低有機負荷 (Low F/M) 之應用，是延長曝氣氧化法的方式之一。其基本的控制條件有三：

(1) 低有機負荷 (Low organic loadings)，設計時 F/M 比值應維持在 0.05~0.15 kg BOD₅/kg MLSS/day 之範圍內。MLSS 濃度在 2,000~6,000 mg/l 之間。由此二個條件，可以推算出其容積負荷 (Volumetric loading)，如 F/M=0.075，MLSS=4,000 mg/l，其容積負荷 = 0.3 kg BOD₅/m³/day，由此可推算出氧化渠之體積。

(2) 曝氣器輸氧能力的選定，根據經驗，去除 1 kg BOD₅ 約需 2.0 kg O₂，由每天的總 BOD₅ 量乘以去除每公斤 BOD₅ 需氧量即知每天的總輸氧量，除以 24 小時，即得每小時輸氧量。足夠的氧量同時可提供脫氮 (Nitrification) 和污泥消化的目的。

(3) 不論豎軸或橫軸曝氣機，其輸氧效率差不多均為 1.8 kg O₂/hp-hr 或 2.3 kg O₂/kw-hr；由輸氧量除以輸氧效率即為曝氣機之動力。

三、曝氣器輸氧量大小的控制

不論採用豎軸或橫軸曝氣機，其輸氧量和葉片吃水深完全成正比，也和耗電量成正比。而吃水深一般均由氧化渠的溢流堰來調整。豎軸曝氣器也可由油壓幫浦來調整曝氣機軸的升降。不論調整溢流堰或調整曝氣機軸，均可由氧化渠內溶氧來控制。但由於氧化渠內溶氧的分佈並不均勻，採用豎軸的 Carrousel 氧化渠，更有溶氧豐富區，和溶氧缺乏區。如何選定溶氧測點和溶氧量控制範圍，是設計者和操作者均需謹慎思考的問題。通常氧化渠曝氣機最小吃水深和最大吃水深，其輸氧量，差不多有 3~4 倍，所以氧化深渠應用，可以適合初期部份污水，及稍微超負荷 (Over loading) 的操作，均不會發生問題，這是氧化渠國內廣受歡迎採用的原因。

四、氧化渠設計注意要點

根據筆者參考與幾個氧化渠設計和操作上的經驗，氧化渠要特別考慮水力超負荷的問題 (Hydraulic over loading) 由於部份污水進流管或渠，並未和雨水系統分開，碰到暴雨時，氧化渠內水位迅速升高，致使曝氣機馬達因超過負載而自動跳脫。所以設計時，要特別考慮溢流堰長度的選定，及溢流堰至終沉池水位差，及溢流堰至沉澱池之間輸水管管徑要特別放大。當然操作時這問題特別嚴重時，應於進流處設一閘門，暴雨來時讓部份水流繞流。

五、使用橫軸和豎軸曝氣器氧化渠的比較

下表簡單列出使用這兩種不同曝氣器的氧化渠，其差異之處。

	Pasver 氧 化 渠	Carrousel 氧 化 渠
曝 氣 器 型 式	由橫軸中心軸延伸許多葉片組織，直徑 1.0m，長度約 3 m至9.0m。	許多不同葉片型狀的豎軸曝氣都曾被用過，但以 Simcar 錐形葉片，最常用。直徑由 1.0m 至 4.0m。
吃 水 深 控 制	由溢流堰高程來調整。	可由油壓幫浦，控制曝氣器軸之升降或由溢流堰高程來調整。
曝 氣 器 安 裝 位 置	可安裝於氧化渠內任何直線位置。	只能安裝於氧化渠一端水流轉彎處，設計時此處水池較深。
氧化渠結構上設計	除轉彎處須特別考慮水流均勻而設計導流牆外，其餘不需特別考慮。	除導流牆外，還要特別注意安裝曝氣器支撐橋的結構設計。

至於就輸氧能力、攪拌能力、適用性 (Adaption)、機械壽命、以及建造費用、操作費用、維護費用等的比較，目前國內雖已有 9 座深氧化渠的建造，但因缺乏正確的操作數據；而國內競標的基準，每案均不同，也很難在費用上作比較，以判定那一種系統較優。

六、結 論

1. 不論採用橫軸或豎軸曝氣機的氧化深渠，其主要特性可歸納如下：

- (1) 無需初步沉澱池，節省建設費用。
- (2) 對於突變負荷 (Shock loading) 具有緩衝容量。
- (3) 脫氮作用 (Denitrification) 可在不增加費用下達成，減少放流水營養劑及藻類的繁殖。
- (4) 污泥性質穩定，不需另建消化設備，污泥脫水容易。

2. 在目前國內污水處理廠專業優秀的操作人員不可得的條件下，氧化深渠具有操作簡單，曝氣器維修容易，而處理的效果穩定等優點，應適合於國內推廣使用。

論塑膠滴濾池於國內污染防治之應用

廖學賢*

一、前言

生物處理法仍為目前衛生工程界所知處理有機性廢水最經濟有效的方法，生物處理法因微生物生長的方式不同，而可分為兩大主要系統，一是以固定膜 (Fixed Film) 生長，如滴濾池，另一種是以懸浮性 (Suspended) 生長，如活性污泥法，兩者均為目前最普遍採用作為有機性污水廢水處理方法。國內於十多年前曾先後設立了兩三座以卵石為濾料的滴濾池污水處理廠。但由於卵石濾料的缺點，如高度受限，容易阻塞，通風不良等，目前除中興新村污水廠的滴濾池尚維持正常的操作外，其餘均已廢棄不用。歐美各污水處理先進國家於十幾年前即研究以塑膠濾料取代卵石濾料，其研究和應用品成果均已獲學術界和衛工界之肯定。國內於最近十幾年來，塑膠工業的發展，早已成為世界矚目的塑膠王國，國內衛工界應和塑膠工業界共同研究發展最適合滴濾池應用之塑膠濾料，除供國內工業污染防治外，尚可外銷。本文纂寫的主要目的，即在提醒國內衛工界，因客觀環境，一時尚未能培養足夠優秀的污水操作人員足供工業界聘用，於採用活性污泥法時，是否也多加考慮十幾年來一直備受冷淡，但卻同樣經濟有效而操作簡單的滴濾池法。

二、理想塑膠濾料的條件

英國 Chippeifield 曾歸納理想的塑膠濾料應具備下列條件：

1. 在同樣的水力負荷 (Hydraulic loading) 下每單位體積能夠除去最大重量的BOD₅。
2. 單位體積和單位面積下，能操作較大的水力負荷，而得到同樣的處理效果。
3. 須有足夠之空隙以流動空氣，使生物膜得到充分的氧氣。
4. 濾料之化學性質必須安定，不受微生物及廢水中化學物質之分解。
5. 濾料結構強度高、重量輕，底部可支持自身重量而不受損，同時可疊成高塔式，節省用地面積。

Chipperfield 同時指出，調查各種不同塑膠濾料材質結果，以 PVC 被認為是最適合的材料。而 PVC 又是國內最為大家熟悉、價格最為便宜的塑膠原料之一。國內衛工界應設法尋求塑膠業界合作，發展符合上述條件的塑膠濾料，應不是一件困難之事。筆者最近幾個月曾拜訪數家知名的 PVC 塑膠加工業者，所得到回響，頗令人振奮，其中一家並已著手設計「模子」，準備試行製造。

*水美工程企業股份有限公司總經理。

三、塑膠濾料滴濾池法於國內之應用

依據目前國內公佈採行的放流水標準，塑膠濾料滴濾池應可應用下列二種情況：

1. 作為預先處理 (Pretreatment) 之用，以塑膠濾料的高效率滴濾池作為生物處理法的預先處理，又可概括說明應用於下列幾種情況。
 - a、工業區內排出高濃度廢水的工廠的預先處理。目前國內工業區污水廠的管理規則，均要求工廠廢水排入污水廠前，其 BOD_5 濃度須小於 600mg/l 。如果工廠廢水 BOD_5 濃度大於此限制時，用高效率滴濾池以除去 $50-70\%$ 的總 BOD_5 量，應為容易而經濟可行的方法。
 - b、解決既設污水廠過負荷的困擾。工廠因擴廠，或產品及製程改變，致排出的廢水，其總 BOD_5 量（濃度乘以總水量）超過既設污水廠的負荷時，高效率滴濾池可以最節省用地及費用來除去超過負荷部份的總 BOD_5 量。
 - c、作為高濃度廢水的預先處理之用。高濃度廢水的處理，目前最廣泛為衛工界採行的方法有二、一是採用厭氣處理後，再以喜氣的生物處理。另一是用高效率的滴濾池，以除去大部份的總 BOD_5 量，再以滴濾池或活性污泥處理來達到放流水標準。
2. 作為完整的二級生物處理之用。二段式或三段式的滴濾池很廣泛的被用來作為完整的二級生物處理，達到放流標準。此構想之觀點為第一段的滴濾池係作為預先處理，以除去大部份的總量 BOD_5 ，再以第二段或第三段滴濾池，便處理水質完全達到放流水質之要求。

四、塑膠濾料滴濾池在國內應用的有利因素

筆者個人認為下列的幾項因素，極利於高效率滴濾池在國內的推廣應用。

1. 氣溫；臺灣地處亞熱帶，全年平均溫度約在 20°C ，即使冬天溫度也甚少低於 10°C ，適合對溫度變化較為敏感的滴濾池於國內應用。
2. 用地面積。

臺灣地狹人稠，土地價格昂貴、一般工廠預留作為污水廠的用地面積，一般說來均極為狹小。塑膠濾料因構造堅固，自身重量輕，支撐容易，可以採用高塔式，而不影響其處理效果。一般可高至 $10-13$ 公尺。如果工廠預留污水廠面積太小，則高塔式的滴濾池應為可行。
3. 操作費用省。

由於塑膠濾料的特殊型狀設計，使廢水濃度不太高時 (800 mg/l 以下) 其平均流量即足夠維持濾池的最低潤濕 (Wetting rate)，而不必迴流 (recycle) 污水，也不必迴流沉澱池的污泥。另一因素即滴濾池所需氧氣一般均來自自然通風，即使由於滴池直徑過大，或廢水濃度太濃致生物膜過度成長而需要強制通風時，因打入同樣的空氣其壓力小

於 200mm Aq，與活性污泥的 4000-6000mm Aq 相比，可節省輸氧的動力甚多。一般說來與同效率的活性污泥比較，動力費用節省 $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{3}$ 應屬正常。

4. 操作簡單。

由於滴濾池不需要迴流污泥，而且不會發生沉澱池鬆化 (Bulking) 的現象，所以操作不會像活性污泥法那麼困難和變化多端，對於國內工業界普遍缺乏優秀專業操作人員，具有緩衡的作用。

5. 可用以處理高濃度廢水。

高濃度廢水若用活性污泥法，需加以稀釋，但卻可直接用高效率滴濾池處理；而不必費心加以稀釋，而在處理技術及費用上的考慮均較活性污泥法可行。

6. 臭味可加以控制。

由於塑膠濾料的特殊型狀設計、其孔隙率一般均高達95%以上，如果廢水濃度不是太高致生物膜過度生長，採用自然通風也不會造成嚴重的惡臭。如果特別注重工廠環境衛生，惡臭需特別加以控制時，可採用密閉式強制通風，由於通過濾料的風壓損失很小，所以採用低壓的排送風機即可。所費動力不大。

由於採用高塔式，每一濾池之直徑／表面積都不大，以前最受衛工界詬病的污水蠅，容易加以抑制。

五、結 論

塑膠濾料的滴濾池仍有具值得研究推廣的地方，國內業界興建污染防治設備時，不妨多考慮塑膠濾料滴濾池是否也能應用。

活性污泥法中散氣式曝氣系統之設計(一)

(散氣設備部份)

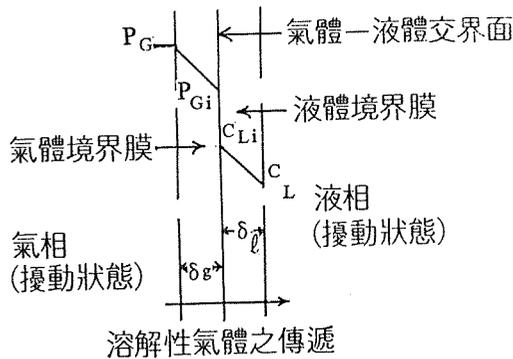
高信福*

一、前言

曝氣池的曝氣系統可視為活性污泥處理廠之心臟，故曝氣池設計是否妥當，直接影響整個處理廠之效能。而目前較常使用之曝氣設備有散氣式 (Air Diffuser)、表面曝氣機 (Surface Aerator) 以及利用鼓風機與曝氣機之併用者如噴射式曝氣機 (Jet Aerator)，而其中散氣式曝氣系統曝氣方式。然因散氣式曝氣系統包括散氣器與鼓風機等設備，本文為提供新進從事廢水生物處理者有較廣泛之認識，故分別就散氣器與鼓風機設備之選擇及安裝上所應注意事項詳予介紹，俾有助於讀者。

二、曝氣之原理

活性污泥法為一種連續性生物處理程序，其原理乃在於曝氣池中，將曝氣所造成之紊流與攪拌，以使好氧性微生物維持懸浮狀態，並在有氣狀況下微生物將可溶性之有機物氧化成水及二氧化碳，而達到去除廢水中有機物之目的。至於利用鼓風機散氣使空氣中之氧溶於水中之原理可由 Lewi 及 Whitman 所提倡之二層薄膜理論說明。於假設接觸面上之液相與氣相處於平衡狀態時，其物質移動之阻力集中於氣體境界膜和液體境界膜 (如圖一)，當空



圖一 二層薄膜理論模型圖

氣呈紊流狀態移動進入液相時，則空氣中之氧及液體中之含氧濃度均可視為一定。而氧的移動為一種分子擴散 (diffusion) 現象，其擴散係數定為 K_L ；而每單位液相體積之氣液表面積定為 a ，則依 Henry 定律可得

* 中興工程顧問社環工部工程師

$$\frac{dc}{dt} = K_{L,a}(C_s - C_L)$$

其中 $\frac{dc}{dt}$: 氧之傳遞速率, $\text{mg}/\ell \cdot \text{hr}$

$K_{L,a}$: 總液量傳遞係數, hr^{-1}

C_s : 飽和溶氧濃度, mg/ℓ

C_L : 液相中溶氧濃度, mg/ℓ

而其單位時間之傳遞量為

$$\frac{dM}{dt} = N = K_{L,a}V(C_L - C_s)$$

其中 $\frac{dM}{dt}$, N : 氧傳遞率, mass/time

V : 液體體積

根據 Eckenfelder and Ford 誘導散氣式曝氣之供氧是為

$$N = CG_a^{1-n} D^{0.67} (C_m - C_L) \cdot 1.02^{(T-20) \cdot \alpha}$$

其中 N : 氧之傳遞速率, $1\text{b}/\text{hr}$

G_a : 在標準狀態下之空氣流量, ft^3/min

D : 散氣器之沒水深度 ft

C_m : 曝氣池一半池深之飽和溶氧濃度, mg/ℓ

T : 操作水溫, $^{\circ}\text{C}$

α : $K_{L,a}$ (廢水) / $K_{L,a}$ (清淨水)

c, n : 均屬製造廠商提供之常數。

三、散氣器之選擇、性能與其維護

經由以上探討可知散氣式曝氣系統之氧傳遞速率與空氣供給量、散氣器供氧效率、池深以及其環境均有關係, 故如何選擇及佈置散氣器, 乃設計者所需考慮之因素。

1. 散水式曝氣設備之介紹

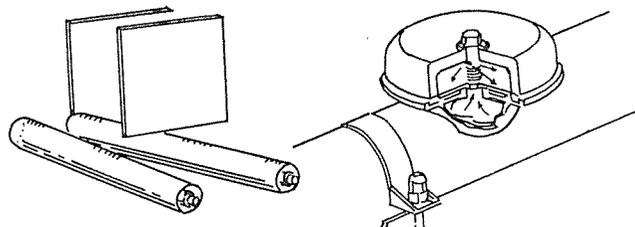
散氣器 (Air Diffuser) 如嚴格區分可分為三種 (如附圖二) :

(1) 微細氣泡式 (Fine Bubble) : 指發生氣泡直徑在 $2.0 \sim 2.5\text{mm}$ 者, 例如以塑膠系成捲繞管之設備, 它由於單位體積內之表面積相當大而產生良好之氣體——液體接觸面, 故有高達 $10 \sim 30\%$ 之傳氧效率, 極適於高溶解性 BOD 廢水之處理。它的缺點為成本較高, 且因孔隙很小, 容易發生阻塞, 故其維護費用亦高, 此可加裝空氣過濾器消除之。

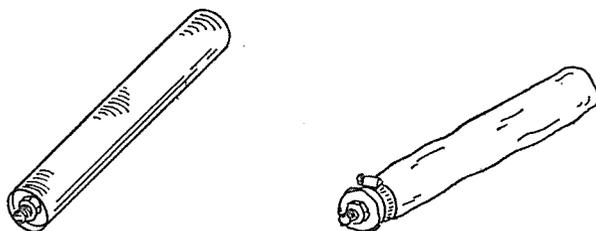
(2) 中氣泡式 (Medium Bubble) : 指發生氣泡直徑在 $5 \sim 10\text{mm}$ 者, 例如以尼龍袋覆於管上成帽型之設備, 其傳氧效率約 $6 \sim 15\%$, 然其成本及維護費用均介於微細氣泡及粗細氣泡之間。

(3) 粗氣泡式 (Coarse Bubble) : 指發生氣泡直徑較大, 高至 25mm 者, 例如以塑膠管打孔、凡而或水力剪斷型設備, 其傳氧率最低, 約 $4 \sim 8\%$, 適用於調和池之空氣攪

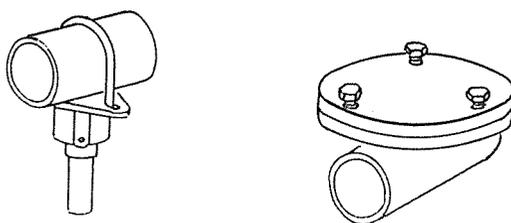
拌作用，它的優點為成本費及維護費用均最低。



微細氣泡式散氣器



中氣泡式散氣器



粗氣泡式散氣器

圖二 散氣器之種類

2. 影響散氣器傳氧效率之因素：

一只特定散氣器的傳氧效率將隨着散氣器之安排間隔、池寬、池深及空氣流量而定。茲分別略述於下：

(1) 安排間隔

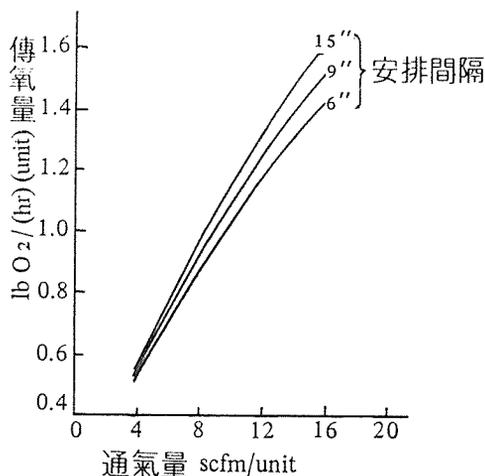
一只特定散氣器之安排間隔將視所需攪拌程度以及防止發生之氣泡聚結一起來考慮，一般最小之間隔為 15cm，而最大間隔亦不應超過 60cm，附圖三為說明散氣器間隔與傳氧量之關係。

(2) 池寬

如果欲維持良好之攪拌效果，池寬／池深之比率須小於 2，附圖四即說明池寬影響傳氧量之情形。

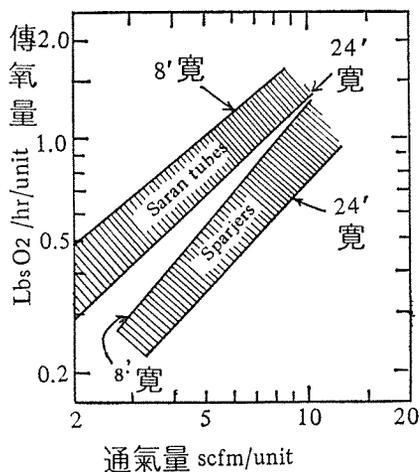
(3) 池深

如果增加池深將可增長氣泡與水之接觸時間因而提高氧之傳送量，但亦相對增加了鼓風機所需動力；相反地，如果散氣器安置在較淺之深度，則消耗相同的動力將有

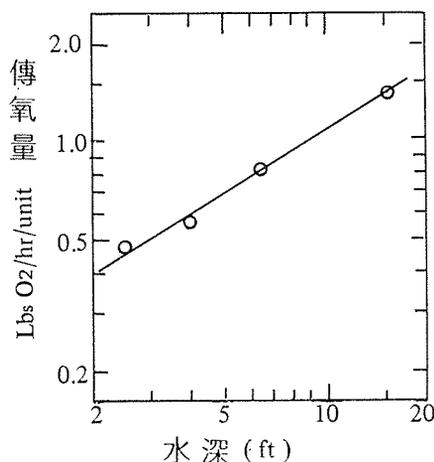


圖三 散氣器之安排間隔與傳氧量之關係圖

較多空氣量，而能得到更激烈的攪拌作用。經由試驗得知：單位動力之氧移動速度與散氣深度無關，亦即供給一定量氧所需之電力，無論深或淺皆不變。通常散氣深度介於 2.4m 至 5m 時間，其攪拌作用與氧傳送率間可得最佳之平衡；如超過 5m 時，由於溶氧之氣化，而於最終沉澱池發生微細泡之現象，致成爲影響污泥沉降之一大主因。圖五說明池深影響傳氧量之情形。



圖四 池寬與傳氧量之關係

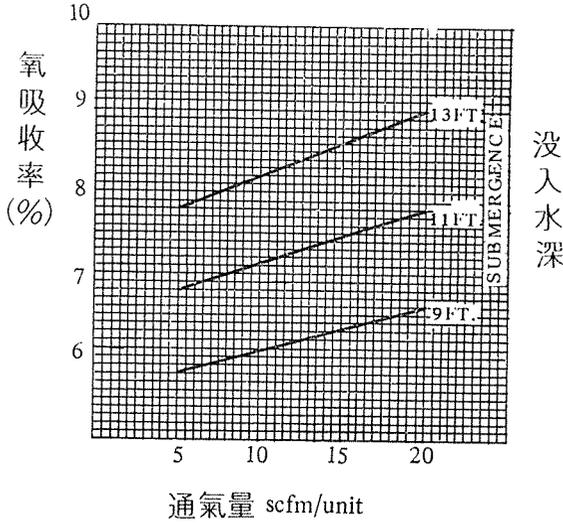


圖五 池深與傳氧量之關係圖

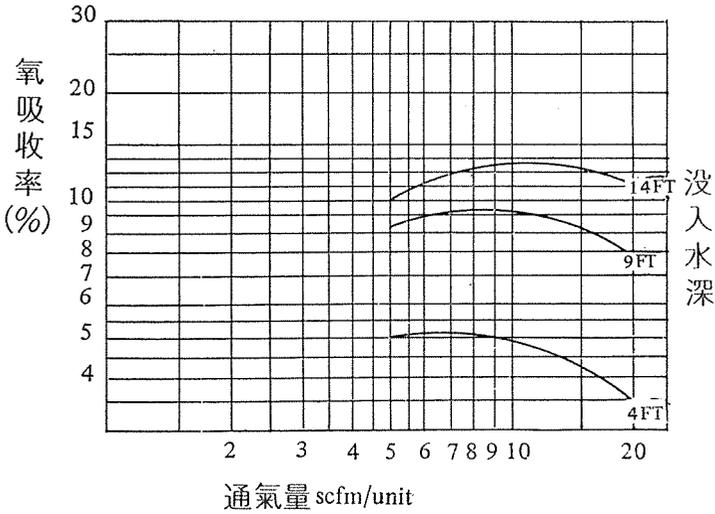
(4) 通氣量

使用粗氣泡式散氣器時，如增加空氣量將於水中產生擾流，致打破粗氣泡成爲微細氣泡而增加傳氧率。有關通氣量與氧吸收率之關係如圖六所示，吾人須了解的是增加通氣量未必均能增加供氧率，如沿着曝氣池之一邊增加通氣量將反而減少吸氧率之百分比。然微細氣泡式散氣器之通氣量與氧吸收率之關係如圖七所示，其與粗泡式散

氣器之性能並不相同，最佳之設計應採用最大氧吸收率時之通氣量為最經濟。



圖六 粗氣泡式散氣器通氣量與氧吸收率之關係圖



圖七 微細氣泡式散氣器通氣量與氧吸收率之關係圖

3. 散氣器之維護方法

多孔性散氣器因常年浸沒於曝氣池中使用，將隨着廢水之成份空氣過濾之程度以及處理廠本身設計、維護和操作過程之不同而發生淤泥生長、塵垢阻塞孔隙之現象，以致影響原有通氣之功能，故一般視其需要必須進行維護，俾發揮其效用。

爲了能吊起沒在水中之散氣器以易於從事維護工作，於建造費許可之情況下應採用搖擺式散氣臂 (Swing Joint Type Diffused Arm)，它可藉油壓或其它型式之吊車

輕易吊起散氣器以更新或維護；如於建造費短絀之情況而使用固定式 (Fixed Type) 散氣臂時，亦須考慮能於散氣臂轉彎沒入水中前加裝——由令接頭 (Union Coupling)，俾能鬆開該接頭而升學起散氣器至池上。

一般而言，如散氣器安放在較停滯 (Stagnant) 之池中，則較易生長淤泥 (Slime) 而影響散氣效果，然最有效之清除方法，可於正常操作狀況，提高風壓以清除黏着於孔隙之淤泥；而引起塵垢阻塞散氣器之主要原因為空氣過濾效果不佳以及管線上金屬及有機物之氧化作用，此可改進並適時維護空氣過濾設備來補救。亦有其它因送氣管線或廢水中之油份、廢水中之固體物進入破裂之管線中，沉澱之淤積物以及其它之堆積物等因素阻塞散氣器之孔隙，此則有待細究發生原因及參酌原散氣器之材質後再詳謀對策。一般去除阻塞物方法包括(1)利用溶劑 (Solvent) 溶解，(2)物理方式去除，(3)藉高溫氧化，(4)藉沖洗、反沖洗、震動、用力擦洗及紫外線照射等物理或化學方法來除去阻塞物質。

四、曝氣系統中所需空氣量之計算

1. 需氧量之理論值

活性污泥處理程序中，氧於喜氣性異營菌之能量新陳代謝反應中係充當電子收受者 (electron acceptor) 之角色。換言之，部份之有機被氧化產生能量以維持所需功能及合成細胞質，而任何氧化作用亦必伴隨着還原作用，而氧於喜氣菌即滿足這種需要。

如果曝氣池中供氧量不足或攪拌作用未能維持混合液成懸浮狀態，則該反應程序立即失敗而影響出水水質，故如何決定於一特定生物反應程序中喜氣菌之需氧量，以及於該曝氣系統中如何供給所需氧量並另加上維持 2ppm 或更高之溶氧量於該曝氣池中是設計工程師之責任。一般需氧量之實驗室求法，應就某特定生物反應程序作模型試驗俾求出每去除單位 BOD 量所需之能量 a^1 以及反應槽中每單位 MLVSS 於行內呼吸作用時之每天耗氧量 b^1 等係數，以計算本處理系統之需氧量。其計算公式如下：

$$\text{kg/day} = a^1 S_r Q + b^1 X_{v,a} V$$

其中 S_r ：去除 BOD 之濃度 (mg/l)

Q ：處理流量 (m³/d)

$X_{v,a}$ ：曝氣池中之 MLVSS 濃度 (mg/l)

V ：曝氣池體積 (m³)

茲以一模型試驗之數據；可分別求出 $R_r/X_{v,a}$ 及 $(S_o - S_e)/X_{v,a} \cdot t$ 之值，將其數字分別標示於方格座標紙上即可求得接近直線之圖形，則與 X 軸之截距即為 b^1 ，而該直線之斜率即為 a^1 ，而將其代入上列公式即為需氧量之理論值。

其中 R 為攝氧率 (mg O₂/l·day)

$X_{v,a}$ 為曝氣池中之 MLSS 濃度 (mg/l)

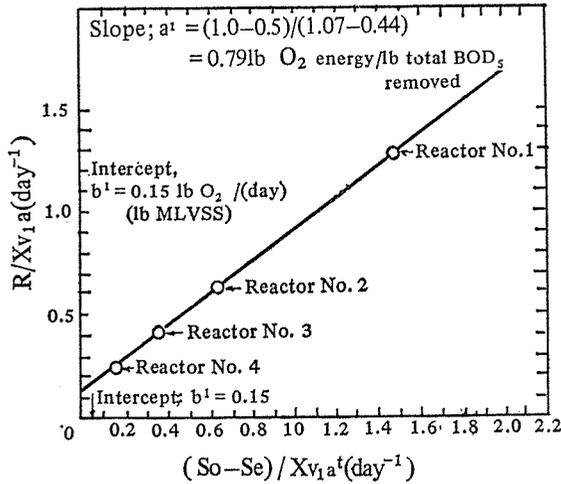
S_o 為進入曝氣池之可溶性 BOD 濃度 (mg/l)

S_e 為處理水之可溶性 BOD 濃度 (mg/l)

t 為曝氣池之反應時間 (hr)

2. 需氧量與所需空氣量之經驗值

一般之活性污泥處理法中，每去除 1kg 之 BOD 約需氧量 0.9~1.0kg；而延長性



圖八 生物處理法需氧量理論值係數 a^1 及 b^1 之求法

活性污泥處理法中，每去除 1kg 之 BOD 約需氧量 1.2kg。另根據美國 “Ten-Sate Standards” 指出供氧量須有 1.5 倍之需氧量，並考慮於尖峯負荷 (Peak loading) 時有 2.0 倍之安全係數。但因所用散氣器之型式影響輸氧效率很大，故本節所提供之數值均僅供參考用。

又如以供氣量，有如下表一之經驗值可供概估各種活性污泥處理法所需空氣量之參考。

表一 活性污泥處理法之所需空氣量概估值

處 理 方 式	ft ³ 空氣量/lb BOD 進入曝氣池
傳 統 式	1,500
階 梯 曝 氣 式	1,500
接 觸 穩 定 式	1,500
高 率 式	400~1,500
延 長 曝 氣 式	2,000

美國 “Ten-Standards” 亦指出一般活性污泥法每去除 1 公斤所需空氣量為 60m³，而延長曝氣式活性污泥法為 125m³；Metcalf & Eddy 更進一步指出如 F/M 大於 0.3 時每去除 1 公斤 BOD 之所需空氣量為 30~55m³，而 F/M 小於 0.3 時為 75~115m³。如於調和池中，一般為每 m³ 池體積約供氣 20~30m³ 即可得到良好之攪拌作用，至於是否能維持良好之喜氣狀態，則須視廢水中之 BOD 濃度而定。

3. 散氣器傳氧效率之計算

某一生物處理程序之需氧量決定後，即可依使用散氣器之傳氧效率以及使用狀況下之許多相關修正係數來決定所需之空氣量。一般散氣器在操作狀況下之實際 (或期望)

傳氧效率 (E_A) 可依下式表示：

$$E_A = E_s \left[\frac{[(ACF)(\beta)(C_m) - C_R]}{C_{sm}} \right] [\alpha] [1.024^{T-20}]$$

其中： E_s = 散氣器在標準狀況下（自來水，20°C 及 $DO = 0\text{mg}/\ell$ ）之傳氧效率。它與每組散氣器之通氣量、發生氣泡之型式（粗泡型或細泡型）以及浸水深等因素均有關係，已於前節詳述。

ACF = 高程修正係數。

β = 說明水中溶解性固體物影響氧飽和度之因素。對於家庭污水而言， β 值約為 0.9 至 0.95；但對一般工業廢水， β 值小於 0.75。

α = 為對於各種不同廢水性質散氣設備傳氧率之修正係數。本 α 修正值涉及許多影響因素，如果可能的話應做實驗求得。

C_R = 曝氣池中所需維持殘留之溶氧濃度。一般而言，在脫氮處理中溶氧須維持在 1.5ppm 以上，而非脫氮處理中溶氧維持在 0.5~1.0ppm 即可。但依美國“Ten-State Standards”說法，則 C_R 至少須維持在 2ppm 以上。

C_m = 裝清水於曝氣池，於 $T^\circ\text{C}$ 水溫時之半水深中之溶氧飽和值。

C_{sm} = 裝清水曝氣池，於 20°C 水溫時之半水深中之溶氧飽和值。

C_{sm} 或 C_m 值與設計水溫、空氣釋出時之絕對壓力及空氣中所含溶氧之濃度有如下之關係：

$$\frac{C_m}{C_{sm}} \text{ or } C_s = \left[\frac{P_b}{29.4} + \frac{O_t}{42} \right]$$

其中 C_s 為清水於設計水溫狀況之溶氧飽和濃度。

P_b 為空氣釋出深度點之絕對壓力 (psi)。

O_t 為空氣逸離曝氣池時之含氧濃度 (%)，一般空氣中最初之含氧濃度為 21%，而約 6~10% 被吸收。

T = 曝氣池中廢水之水溫 ($^\circ\text{C}$)。

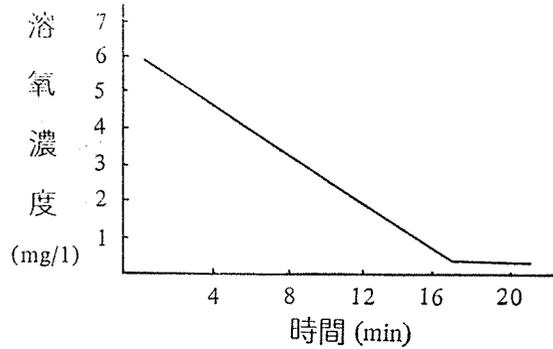
五、曝氣池中所需溶氧量與經濟供氣量之關係

一般教科書抑或研究文獻均說明，曝氣池中所需最低之溶氧量均需維持 1-2mg/ ℓ 之間。因如曝氣池之出水 DO 小於 2mg/ ℓ 時而沉澱池之停留時間如又過長的話（通常指超過 4 小時），則其處理水如 BOD 很低（指 20mg/ ℓ 以下），其 $D.O.$ 或尚可維持在 1mg/ ℓ 左右；但如迴流污泥量不大時，則其迴流污泥之 $D.O.$ 將接近於零，待其迴流至曝氣池，則又耗用大量之溶氧，而形成一惡性循環。反之，則否。

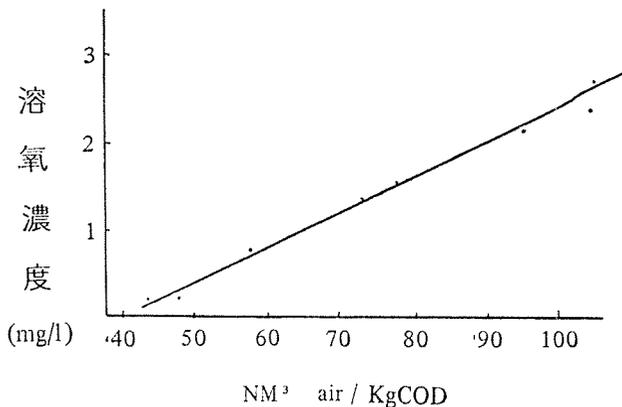
以上說明對於一個完全混合式 (Complete Mixing) 之活性污泥處理系統當然無可避免，但如果是一個柱塞型 (Plug Flow) 之活性污泥處理系統則不盡然，因吾人可控制維持前段之 DO 為最適合該類廢水處理之微生物攝氧率最低值，及至曝氣池出水時再提高其 $D.O.$ 值至 1.5-2.0mg/ ℓ 左右，則其對節省能源以及膠羽之形成將有莫大之助益，唯此方式之缺點為突增之 BOD 負荷將極易造成活性污泥處理之失敗。

茲以啤酒廢水處理為例，於實驗室中將濃度高達 9,000mg/ ℓ 之 $MLSS$ 曝氣至 $D.O.$

飽和後停止曝氣，則其 DO在大於 0.2mg/ℓ 時成直線急速下降（如附圖九）所示。此即顯示只要 D.O. 維持在0.2mg/ℓ 以上，則活性污泥之攝氧率將保持一定。因此，吾人亦可經實驗求出如附圖十之關係，亦即維持 MLSS 中之 D.O. 在 0.2-0.5mg/ℓ 時，曝氣池中之供氣量控制在 45-52NM³/kgCOD 之間，此可達到節約能源之目的。



圖九 MLSS 中之 DO 與時間之關係



圖十 曝氣池中之溶氧量與 CO₂ 空氣負荷量之關係

六、操作上所發生之問題與排除方法

操作 上 之 發 生 問 題	故 障 排 除 方 法
1.曝氣池中溶氧量不足時 (指 ML D.O. ≥ 1.5-2.0mg/ℓ)	<ul style="list-style-type: none"> ①檢查空氣過濾器及散氣器是否阻塞。 ②如果可能的話，降低排入有機負荷量。 ③降低曝氣池中之 MLSS 濃度。 ④增加空氣供給量。
2.曝氣池中溶氧量超過時 (指 ML D.O. ≥ 1.5-2.0mg/ℓ)	<ul style="list-style-type: none"> ①確信生物羣相是否健全。 ②減少空氣量。 ③調整空氣管線控制凡而，以降低傳氧效率。
3.過量之泡沫發生	<ul style="list-style-type: none"> ①減少空氣供給量。 ②使用壓力水或消泡劑消除泡沫發生。

活性污泥鬆化現象及其控制

張訓中*

一、前言

以活性污泥法來處理家庭污水或含有有機性污染物之工業廢水是日前廢(污)水處理常採用之方式，當家庭污水或工業廢水經由收集管渠進入污水處理廠時，必需先經過攔污柵、沈砂池、初步沉澱池等設施，以移除污水中較大型固體及可沉降物質，包括樹枝、碎布、砂粒等，其目的為保護處理廠中較下游之機械設備、管線及控制閥，增加處理池之容量、使用壽命，經過這些初級及一級處理程序，污水進入曝氣池中曝氣，再經二級沉澱池，可以除去溶解性之有機物及大量之生物污泥，這種二級生物處理法對生化需氧量(Biochemical Oxygen Demand, BOD)及懸浮性固體物(Suspended Solid, SS)之去除效率約在85-98%之間。由於活性污泥法之處理係藉著曝氣池中大量生長之細菌、微生物之新陳代謝，將污水中之溶解性有機物質分解消耗作為補充其食物及能源之來源，而將有機污染物去除。進入二級生物處理系統之污水水量、水質、操作方式、曝氣池生長環境等均將影響細菌、微生物之生長而改變處理之成效。由於活性污泥法對污水性質變化適應性大，有機污染物移除率高，故被大量的用於處理含有有機污染物之廢水，而在本項處理法中，通常存在有活性污泥鬆化之困擾，由於污泥發生鬆化會降低處理系統之成效，或造成系統失敗之結果，而必需重新培養污泥，不唯嚴重影響承受水體之水質，亦增加操作及維護之工作，本文將探討污泥發生鬆化之原因，可能產生之影響，及其改正控制之方法。

二、活性污泥鬆化現象及其影響

(一)活性污泥之沉澱

在曝氣池中大量生長之活性污泥必需在二級沉澱池中予以沉降分離，以產生清澈之上澄液或出水，達到設計出水水質之要求；良好之污泥沉澱可以減少出水中之懸浮固體濃度及生化需氧量。污泥沉澱可觀察其沉降性(Settleability)及壓縮性(Compressibility)而判斷是否正常，而沉降性及壓縮性通常以污泥之沉降速度(Settling Velocity, SV)及污泥容積指數(Sludge Volume Index, SVI)來表示，前者係指污泥靜置於量筒中產生層沉降之污泥沉澱速度，沉降速度快而連續表示污泥沉降性佳，後者係指1公升污泥於量筒中靜置30分鐘後量測污泥所佔容積，並分析污泥含量，以每克乾污泥所佔之容積為污泥容積指數，良好沉降污泥其SVI通常小於100，污泥沉降性與SVI之關係示於表一中。

活性污泥之沉降性與生物污泥之特性有很大之關連，而與其在曝氣池中之生長環境也有不可分之關係，事實上進流污水之水量、水質、pH、溫度、曝氣池中之溶解氧(Dissolved

*中興工程顧問社環境工程師

表一、污泥沉降性與 SVI 值之關係

SVI值	污泥沉降性	
50	極	佳
100	良	好
150	普	通
200	不	良

Oxygen, D. O.) 濃度、污水停留曝氣時間等不同生長條件均會影響生物族羣之生長及數量，而產生不同沉降性之污泥，所以活性污泥系統之操作控制，必需將重點放在生物族羣之培養控制及適當之二級沉澱池設計，以將在曝氣池中大量生長之生物污泥適當的移除分離，產生清澈之上澄液，方能達到處理之目的。

(三)活性污泥鬆化現象

活性污泥鬆化 (Sludge Bulking) 係指在二級沉澱池中之活性污泥因沉降性及壓縮性不佳致沉澱緩慢或完全不沉澱，在此情況下，污泥之容積指數 (SVI) 趨高，沉澱池中污泥迅速堆積而溢流於出水中；這種現象有異於另外一種沉澱池之異常情形—污泥上昇 (Sludge Rising)，因為污泥上昇是指沉澱池有整塊污泥浮起，帶有氣泡上昇之現象，此時其污泥之沉降性及壓縮性均佳。其形成之主要原因係污泥在沉澱池之停留時間過久或因厭氣作用產生甲烷氣體，或因脫氮 (Denitrification) 作用而釋出氮氣，這些氣體上浮而將污泥帶起，因其與污泥鬆化成因不同，故在判別上必需小心，才能採取適當之改正措施。

(三)污泥鬆化之影響

污泥鬆化之影響包括：

- 1.破壞出水水質增加承受水體之負荷。
- 2.增加污泥系統之操作及能源消耗。
- 3.由於「沖洗」作用 (Wash-out) 而使處理系統失敗

這些影響分別說明如下：

1.當污泥發生鬆化時，二沉池污泥因不沈澱而堆積，至一定高度時會隨著溢流水排出而進入承受水體，如河流、湖泊中，這些污泥之流出增加排放水中之 BOD 及 SS 含量，一方面破壞了出水水質，另一方面也增加了承受水體的有機負荷。

2.在沉澱池中經沉降之污泥常需部份迴流至曝氣池中，以維持曝氣池中混合懸浮固體物之濃度 (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) 及保持較高之有機物移除率，由於污泥壓縮性差、濃度低，爲了維持定量污泥之迴流必需提高迴流率，同時爲了減少污泥堆積厚度或去除沉降性不佳之污泥，也必需增加污泥之廢棄量，如此將增加污泥系統之操作及消耗較多之能源。

3.當懸浮固體物由沉澱池溢流出去，或增加污泥迴流及廢棄時，大量之混合懸浮固體物

(MLSS)，極易被「沖洗」出去，而使系統中之總懸浮固體物量減少，而降低處理效果，或造成「系統失敗」(System Failure)。

以下將就污泥鬆化現象產生之原因及其控制補救方法做詳細之討論說明。

三、活性污泥鬆化之原因

活性污泥若發生鬆化會破壞生物處理系統之質量平衡，影響處理效果，故國外早已有許多學者針對可能造成污泥鬆化之原因進行研究探討，這些因素包括活性污泥之菌種變異，系統之有機負荷及食微比 (Food to Microorganism Ratio, F/M) 過高，營養劑不足，污水負荷突變，曝氣流型不良等，希望能由形成原因中，找出控制補救之方法，現將各原因說明如下：

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，而至此目前止由許多學者之研究證實，絲狀菌 (Filamentous Bacteria) 之大量生長被認為是污泥產生鬆化之主要原因，當然絲狀菌之生長與污水水質、曝氣池之生長環境有密切之關係；生物污泥之沉降係由於污泥膠羽之形成，而污泥膠羽之凝結必需依賴非絲狀菌及少量絲狀菌之膠結纏繞而成，當污水中溶氧較低，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，這些延長伸出部份將污泥塊隔開，使其無法結合成較大污泥團而沉澱，Storms 及 Jenkins 發現污水中約有20種以上之絲狀菌，其中在低溶氧狀態能大量生長的有 *Sphaerotilus natans*，在低食微比 (F/M) 能生長的有 *Microthrix parvicella*，在高含硫量時容易生長的有 *Thiothrix* spp. 及 *Beggiatoa* 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 zooglycal 族羣之生長為快，而後者係污泥生長良好沉澱性佳之生物指標；Cheudoba 曾以顯微鏡檢查發現污泥沉降指數 (SVI) 隨絲狀菌存在之數量而增高，Finestein 及 Sezgin 等人亦量測絲狀菌之總長度，發現污泥容積指數與絲狀菌之總長度成正比，當每毫克乾污泥中含有絲狀菌總長度大於 $10^7 \mu\text{m}$ 時或其 SVI 大於 150ml/g 時，有顯著污泥鬆化情形發生，但是有部份學者亦發現污泥中如果沒有足夠之絲狀菌，則污泥膠塊之形成可能太弱或分散為小塊而無法沉澱，同時污泥中若有部份較短之絲狀菌，則可包圍纏繞部份污泥塊而沉澱，故活性污泥系統控制之較佳狀況為使絲狀菌及非絲狀菌之生長達一穩定而平衡之狀況，在此情形下污泥之 SVI 為最小，而有最佳之沉澱分離。

2. 曝氣池中之溶氧量太低

絲狀菌之大量生長是造成污泥鬆化的主要原因，但是絲狀菌在活性污泥系統中之生長卻受曝氣池中溶解氧濃度之影響，美國柏克萊大學教授 Jenkins 指出絲狀菌之生長始於污泥塊內部溶氧較低處，Palm 之實驗亦說明低溶氧為絲狀菌生長之主要原因，在這些實驗中，亦發現 *S. natans* 為主要之菌種，*S. natans* 在長期低氧狀態下能繼續生長繁殖，而其他細菌之生長則較遲緩或受抑制，故 Jenkins 建議曝氣池中之平均溶解氧濃度應維持在 2.0mg/l 以上，以確保污泥塊之內部有足夠之溶氧以防止產生適於 *S. natans* 生長之環境。

3. 有機負荷過高 (食微比 F/M 過高)

活性污泥系統之有機負荷係進入系統有機物量 (BOD) 與系統微生物之比，又稱為食

微比，食微比是活性污泥處理系統之基準，不同的處理方式，如傳統式、高率式、階梯曝氣式等均有不同之設計值，以傳統式活性污泥法而言，其食微比採用值約0.2~0.4 kg BOD/kg MLVSS·day，前者即每天進入曝氣池之 BOD 量，後者為曝氣池中之微生物量，以揮發性懸浮固體物 (MLVSS) 為代表值，當系統之操作在高有機負荷，即 F/M 大於 0.3~0.4 以上時，容易有絲狀菌之生長而產生污泥不容易沉降情形，Lngan 及 Budd 之實驗指出 F/M 值小於 0.3 時，污泥之 SVI 值小，沉降性佳，而當 F/M 增高而大於 0.3 時，其 SVI 值迅速增加，Pipes 亦指出當 F/M 大於 0.3~0.4 時污泥有顯著鬆化情形發生。事實上若進流水中含有大量容易分解之碳氫化合物，雖然 F/M 值未偏高，有時也會有污泥鬆化之發生，可能是因為這類物質較易被分解利用，在短期內造成某種細菌類之大量生長，耗用大量氧氣，使曝氣池中之溶氧無法維持，溶氧降低則致生大量 *S. natans* 絲狀菌而產生污泥鬆化之困擾。

4. 營養劑及微量元素不足

活性污泥之生長必需供給適量之營養劑及微量元素，如氮、磷、鐵等，一般 BOD:N:P 之值約為 100:5:1 (重量)。污水中營養劑不足經部份學者研究發現亦會致生污泥鬆化現象；Wood 及 Tchobanoglous 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，美國賓州大學吳永成博士之實驗亦證明 SVI>200 之污泥鬆化主要為氮源不足所致。

5. 低 pH 值及低溫等不良生長環境之影響

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，曝氣池污水溫度太低時，生物之新陳代謝作用緩慢，不利於膠團性細菌之生長繁殖，部份絲狀菌不受影響，在生長速率上佔優勢，此時容易形成鬆化之情形。

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負荷，這兩種突增負荷有時加上機械設備損壞也會造成菌種之改變，絲狀菌生長之有利條件，這些因素如食微比增加，耗氧量提高而使溶氧降低或不足，部份營養劑供應不足等均是；一般工業廢水由於操作生產程序之需要，常做間斷性及高濃度之廢水排放，若未予以適當充份之調和而直接排入曝氣池極易有突增負荷之情形發生。

四、活性污泥鬆化之控制及改正

當活性污泥鬆化時必需要採取控制及補救之措施，以減少及去除因鬆化而產生不良影響，由於鬆化原因不同，首先必須經觀察取樣分析及記錄追蹤之步驟，判斷惡化之過程及原因，再採適當的補救改正方法，基本上改正方法可以分為下列三種：

1. 暫時性改正方法
2. 較長時性的改正方法以及
3. 永久性的改正方法

茲就各種可能採行之方法分述如下：

1. 暫時性改正方法

(1)添加化學氧化劑如氯 (Cl_2) 及過氧化氫 (H_2O_2) 用以抑制污泥中絲狀菌之生長，這種改正方法係假設絲狀菌有較大之面積／體積比，而對化學抑制劑之加入較具敏感性，易被破壞去除，所需加氯量據部份處理廠之實際經驗以 0.1 至 10 公斤之量加入於 1000 公斤之迴流污泥中，可得理想之效果，若加入過量會將有益於污泥沉降及有機物分解之原生動物類 (Protozoa) 殺死，並且抑制硝化作用，及由於細胞之分解而使出水混濁，故必需小心控制其使用量，也有以 10~20 mg/l 之劑量加入曝氣池中，使其濃度維持在 5~10 mg/l 左右；Jenkins 指出污水處理系統若配合有加氯系統可用於改正沉降作用，則系統污泥之 SVI 值雖稍偏高，出水仍能維持理想水準。過氧化氫通常加入於迴流污泥中，加入之濃度為 100mg/l 或更多，由經驗顯示加入量至 200mg/l 時對有益細菌生物仍無影響，但是在加入過氧化氫後，曝氣系統必需維持池內有適當之溶氧，有些學者認為加入過氧化氫之部份處理效果係由於供給部份溶氧所致，過氧化氫較常用於工業廢水污泥鬆化之控制改善。

(2)添加無機性混凝劑

加入混凝劑於污水中可以增加污泥在二沉池中之沉降性，以減少污泥因鬆化溢流之流失量，經常使用之混凝劑有多元聚合物、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，且若加入過量會影響曝氣池生物系統之操作，使用這種方式因加入混凝劑量不易確定，且未能根本消除絲狀菌生長之原因，實際效果不大。

(3)增加迴流及廢棄污泥量

增加迴流污泥量主要功用為保持污泥於曝氣系統內，減少污泥在二沉池中堆積或溢出，增加廢棄污泥量一方面可以達到上述之目的，另一方面可以去除部份之絲狀菌，但是這兩種方法均未能減除絲狀菌之生長。

2.較長時性之改正方法

(1)調整供給氧氣量

由於絲狀菌在低溶氧時大量生長，故調整曝氣系統之供氧量亦為可行之改正方法之一，若系統之曝氣設施容量充份，可經由操作調整增加供氧量以提高曝氣池中溶氧，若原設置曝氣容量不足，無法增加供氧量，則必需增置曝氣設施，充份供給所需之氧氣，以節用能源之觀點言，曝氣池之最低溶氧量可維持在 0.5mg/l 即可，但因污泥在二沉池中仍需呼吸消耗氧氣，如最好在曝氣池出口處再提高污水之溶氧量至 2.0mg/l 左右。

(2)供給必需之營養劑

污泥鬆化經判斷若因營養劑不足而引起，則必需加入適量之營養劑。如氮、磷、鐵鹽等以改善生物之生長，加入量需將水樣經分析計算後得出，同時必需適時適量的加入營養劑。

(3)調整系統之食微比

就整個活性污泥系統之控制及負荷而言，較恰當之改正方法為檢討及調整系統之食微比，可行之方式為控制進流污水之流量，藉增加迴流污泥量提高曝氣池中混合懸浮性固體物之濃度，若系統負荷量增加，相對的也必需增加曝氣供氧量，若系統處理量不足，則必需增建處理設備以平均系統之有機負荷。

3.永久性之改正方法

(1)曝氣池採用栓流 (Plug Flow) 流型

曝氣池之設計基本上有兩種流型即完全混合式 (Complete Mix) 及栓流 (Plug Flow) 式，前者係使進流污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，污水多做徑向之混合，此種流型初期基質 (Substrate) 濃度較高，增加 zoogleal 之生長，而後濃度做梯度遞減，亦使沉降性較低之生物性族羣大量生長，而增加污泥之沉澱性

(2)在系統中加入缺氧段 (Anoxic zones)

在曝氣系統中加入缺氧段，通常用於有硝化設計之活性污泥廠以加強除氮作用，若將此缺氧段改設於曝氣池之入口處，使進流污水及迴流污泥在此區域內以機械設備攪拌混合，經觀察可以使污泥鬆化現象回復而改善出水，其真正之原因仍不明白，但可能是在缺氧狀態下受脫硝作用或因在需氧狀態下吸收基質之影響而改變細菌生長情況，實際上採用時只需在曝氣池入口段加上隔板造成部份區域產生缺氧狀況即可。

(3)採用多段分隔式 (Multi-Stage and Multi-Compartment) 曝氣系統

目前本方式仍在實驗研究中，設置上之改善係在栓流系統中加入分障牆或版，使成多段分隔曝氣，這種方式兼有上述栓流型及缺氧段區之優點；根據日本 Sumitomo Jukikai Envirotech 公司之實驗證明採用本方式節省能源約 20% 左右，在高負荷時之去除率較低負荷時為高，其平均去除率亦較完全混合系統為高，通常分隔之段數約在 4~6 段，此種處理方式經 Cheudoba, Grau 及 Ottova 等人以人工合成廢水進行實驗亦證明有效，美國賓州大學吳永成博士以家庭污水從事實驗結果亦十分良好，唯對工業廢水之適應性，尚需做進一步之研究分析。

五、防止污泥鬆化在設計操作上之考慮

防止污泥鬆化發生可以分設計及操作兩方面來考慮，分別說明如下：

(一)設計上之考慮

活性污泥系統在設計階段必需考慮防止污泥鬆化在工程上可採用之方法，而將必要之設施做充份而適當之設計，必需考慮之要點包括：

1. 選取適合活性污泥系統處理之有機負荷為設計參數時考慮設置流量、水質調和設施，以減少突增負荷。
2. 曝氣設施之設計容量必須充足，曝氣量應可調整，在低負荷時減少曝氣量節省能源，高負荷時又可充份供給所需之溶氧量。
3. 針對廢水水量，水質特性，選擇適合之曝氣型式、流型 (Flow Type)，設置可改變之入口，以控制基質及溶氧之分佈。
4. 設置調節 pH 及添加營養劑所必需之加藥設備，加氯管線引至曝氣池或二沉池，必要時進行污泥鬆化加氯控制。
5. 將處理之工廠或地區，若已有足量廢水之產生及排放時，在進行功能設計之前，宜先進行系統模擬試驗，以確定選用處理方式及操作參數能配合廢水之特性，而得較佳之處理效果，同時避免泥污鬆化之發生。

(二)操作上之考慮

若活性污泥系統已經設計施工完成，則污泥鬆化之防止必需從小而正確之操作控制方面着手，以下分爲正常操作及改正操作兩方面說明：

1. 正常操作

在系統正常操作情形下，必需遵循下列之原則：

- (1)所有操作人員均需熟悉系統操作控制之正確方法，並確實依標準程序進行操作。
- (2)主要操作負責人必需明瞭系統操作之原理及控制方法，以正確的指導及糾正操作人員之操作。
- (3)所有的機械設備均需予以適當之維護，以避免不必要之故障或停車而影響系統功能。
- (4)所有處理程序均需依建議（操作維護手冊）之方式進行取樣分析，對各種單元處理小心觀察，所有之實驗分析、現場量測、操作記錄等都要小心整理，妥善保存，以做爲系統操作評核及修正之依據。

2. 改正操作

當活性污泥系統發生鬆化現象而必需採取改正措施時，下列原則可供參考：

- (1)主要操作負責人平時必需熟悉有關污泥鬆化可能成因及可行之改正方法。
- (2)全廠必需有緊急應變計畫，對系統突增負荷、機械故障或停車等均能做緊急處置，減少損害及失常時間。
- (3)若有污泥鬆化情形發生，應以現場觀察，取樣分析及操作記錄判斷其可能成因，再採取較可行之改正方式。
- (4)系統在初期試運轉期間，由於廢水特性之變異，生長環境條件之不穩定，要使系統步入正常操作，在此段試誤期間之特有現象及操作，改正方式均需詳細記錄，以供日後重複發生時，採行改正之參考。
- (5)由於各種發生成因及採行改正可能均係判斷，故必需逐步小心實施，避免做急劇而突然之改變，而使系統處理完全失敗。

六、結 論

活性污泥法由於處理有機性廢水效果良好，具有較大之適應性，仍被廣泛的設計採用，國內多處工業區之污水處理廠，亦多爲活性污泥系統，在設計上均已小心考慮防止污泥鬆化之因素，唯因廢水性質特異，流量變化殊大及其他操作方面之因素，是否常有污泥鬆化情形發生，因未追蹤，缺乏具體資料，但可能爲不可免，本篇當可提供有關設計及操作人員之參考。

1. Settability of Activated Sludge in Response to Growth Conditions. Y. C., Wu University of Pittsburgh USA. 1981
2. Treatment of Beer Brewery Wastewater Sumitome Jukikai Envirotech, Inc. JAPAN

3. The Bulking Problem in Activated Sludge, Causes and Control Strategies. Antonio O. Lau, University of California, Berkeley USA.
4. Allnified Theory of Filamentous Activated Sludge Bulking Sezgin et. al. JWPCF, USA. 1978
5. Relationship Between Organic Loading, Dissolved Oxygen Concentration and Sludge Sectleability Palm et. al. JWPCF. USA. 1980
6. Identification of Filamentous Microorganism in Activated Sludge Storms. et. al. 54th WPCF Annual Conference, USA.
7. The Effect of Dissolved Oxygen Concentration in Activated Sludge Process Performance Sezgin M. Umniversity of California, Berkeley USA. 1977
8. Hydrogen Peroxide Cures Filamentous Growth in Activated Sludge Cole et al JWPCF, USA. 1973
9. Control of Activated Sludge Filamentous Bulking Cheudoba et. al. JWPCF, USA. 1973
10. Multistage Aeration System Sumitomo Jukikai Envirotech, Inc. JAPAN
11. Control of Sludge Bulking in the Brewing Industry Henry Schwartz et. al. Miller Brewing Co. WI. USA. JWPCF 1980.
12. Bulking Deflocculotion and Pinpoint Floc. Pipes W. O. JWPCF, USA, 1979

活性污泥法中散氣式曝氣系統之設計 (二)

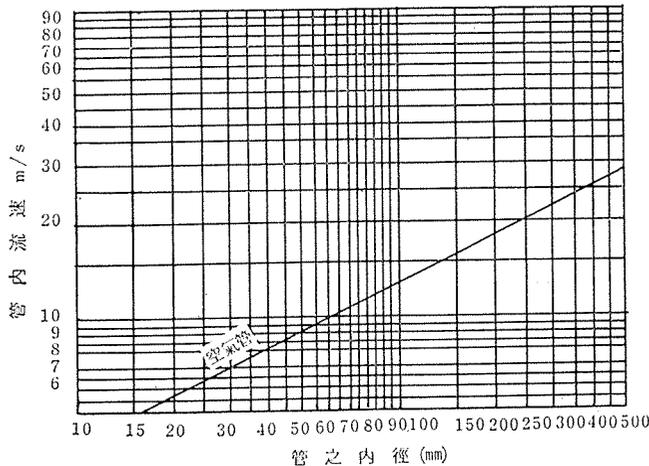
(鼓風機設計部份)

高 信 福*

七、空氣管線之設計

空氣管線係指從鼓風機輸送壓縮空氣至曝氣池散氣器間之空氣幹管，控制凡而、風量計以及其他所需之管件等。因一般壓力均低於 10psi，故採用薄型管線即可，而運用管線之材質則依使用之管徑大小而定。一般幹管管徑大於 600mm 者均採用特製之鋼管 (bare inside)；幹管管徑在 200 至 600mm 之間者採用螺紋鍍鋅鋼管；而幹管管徑小於 150mm 者則採用一般標準之鍍鋅鋼管即可。至於沒入污水之管線管徑大於 75mm 者，採用鍍鋅鑄鐵管，而管徑小於 60mm 者，則以採用鍍鋅白鐵管為宜，然管徑大小之選擇係基於空氣流速之考慮，並須有設計空氣量之 30~50% 餘裕量為佳。

為了空氣管線因流速激增引起管內摩擦損失之大幅度增加以及選擇經濟管徑之考慮，茲摘錄空氣管內標準流速圖 (如下圖十二) 供設計參考。



圖十二 空氣管內標準流速圖

直管部份之壓力損失可由下式計算之：

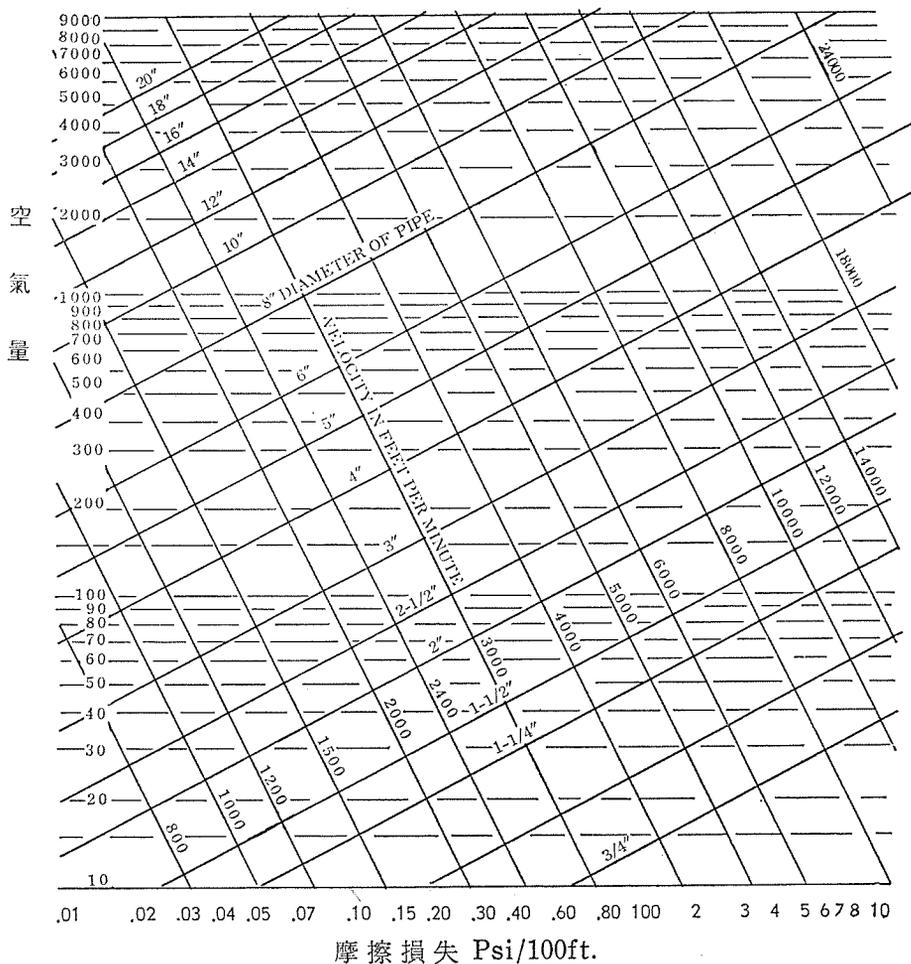
$$h = 5.172 f \times \frac{273}{273+T} \times \frac{l}{d} \times \frac{V^2}{2g}$$

其中 h：壓力損失水柱 (mm)

*十大水工股份有限公司工程師

- V : 平均流速 (m/s)
- ℓ : 管長 (m)
- f : 摩擦係數 (0.0040~0.0059)
- d : 管徑
- T : 空氣溫度 (°C)

如以 Schedul 40 鋼管及空氣密度 0.075 lb/ft^3 為例，其管線之摩擦損失可由下圖表查得。



圖十三 空氣管線摩擦損失圖表

至於異形管部份之壓力損失可由下式計算：

$$h = K \frac{V^2}{2g}$$

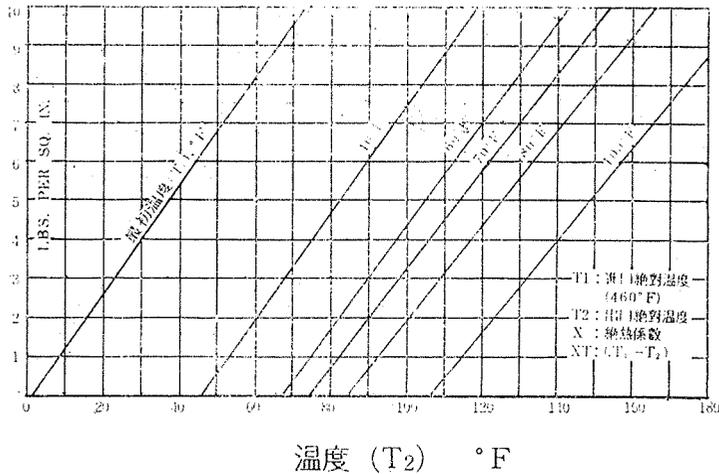
其中K為各種不同異形管件之壓力損失係數。

空氣管線中之其他附屬設備之壓力損失，如無詳盡之設計資料，可依如下表二數值概估之。

表二 空氣管線附屬設備之壓力損失

類 別	空 氣 過 濾 器	風 量 計	散 氣 器
水柱 (mm)	5~15	25~50	50~200

另空氣管線之設計亦應考慮空氣壓縮後之溫度升度，亦即輸送空氣管線之溫度遠較周圍溫度為高，故管線位置應避免橫跨走道或另加保護措施，以避免傷及操作人員。有關絕熱壓縮空氣溫度升高理論值可由圖十四查得。



圖十四 絕熱壓縮空氣之溫度升高理論值

八、鼓風機台數、大小及型式之選擇

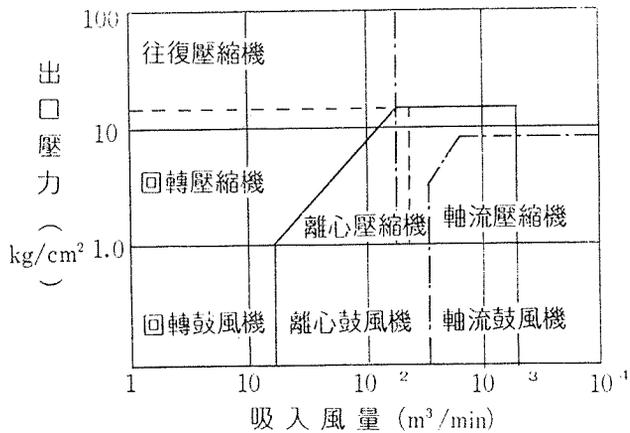
對於供給相同之風量而言，如採用較少台數而較大型之鼓風機將可節省初設費，且增大鼓風機之容量，亦可提高鼓風機之操作效率，故採用較大鼓風機容量則可節省將來之操作費用。對於廢水處理廠所需之空氣量，一般之觀念為至少選用兩台相同容量鼓風機，一台操作，另一台為備用，如無其它之空氣流量控制設備即為錯誤之設計，因它不能彈性之操作以配合曝氣池所須之最低或最高之需要風量。而最理想之設計應選用多台相同較小容量之鼓風機以應最高需要風量，而另選用一台較高能量之鼓風機作為備用。

空氣機械由壓力大小可分為扇風機 (Fan, 壓力小於 0.1kg/cm^2 者) 鼓風機 (Blower, 壓力介於 $0.1\sim 1.0\text{kg/cm}^2$) 以及壓縮機 (Compressor, 壓力大於 1.0kg/cm^2 者)。而空氣機械亦可由壓力產生方法分為輪機型 (Turbo Type) 及排量型 (Positive-displacement Type)，其中輪機型為利用葉輪的昇力或離心力給予氣體速度及壓力，以達成送風或壓縮的工作。它可分為軸流式 (Axial-flow) 及離心式 (Centrifugal-flow)；另外排量型為在

汽缸等一定容積中所吸入之氣體容積，以回轉葉或活塞，緩慢或急速減少其容積以完成壓縮工作，它又可分為回轉式 (Rotary) 及往復式 (Reciprocating)。

當調和池或曝氣池中之功能設計風壓及風量決定以後，即可由下圖十五選擇合適之鼓風機或壓縮機型式，但這祇是大致之範圍，並不是絕對不變的。例如回轉式鼓風機較適用於調和池或過濾器反沖洗設備中放出壓力變化很大之地方，而離心式鼓風機則較適用於曝氣池，因其壓力保持一定而需要風量隨時變化中。總之，於選擇鼓風機型式時必須先比較，檢討各機種之型式、特性、經濟性，以獲知其得失。再者，同一型式之機器也有種種不同之構造，所以先考慮下面之條件，才能決定出最適當之機種。

- (1) 配合所須功能設計之風壓或風量之變化範圍及調整之方式。
- (2) 吸入空氣之腐蝕性、灰塵量以及溫度、壓力之變化。
- (3) 基礎狀況，噪音限制以及動力來源。
- (4) 比較其初設費以及將來運轉維護保養費用等因素。



圖十五 鼓風機壓縮機的通用範圍

九、鼓風機風量、風壓及所需馬力之設計

廢水處理功能設計計算之所需空氣量係指於標準狀況 (20°C, 1 atm) 下之空氣量 (SCFM)，而決定鼓風機馬力大小所依據之進口風量及進出口絕對壓力，係隨操作地點之情況而有所不同，故鼓風機所需之風量、風壓及其馬力均需經過修正設計。

(1) 風量修正

$$Q_s = \left(\frac{14.7}{A} \right) \left(\frac{460 + T_1}{528} \right) \text{SCFM}$$

其中 Q_s ：鼓風機進口之風量，cfm。

A ：鼓風機現場高度之相當錶壓力，psig (其相當數值如表三)。

T_1 ：鼓風機之進口溫度，°F。

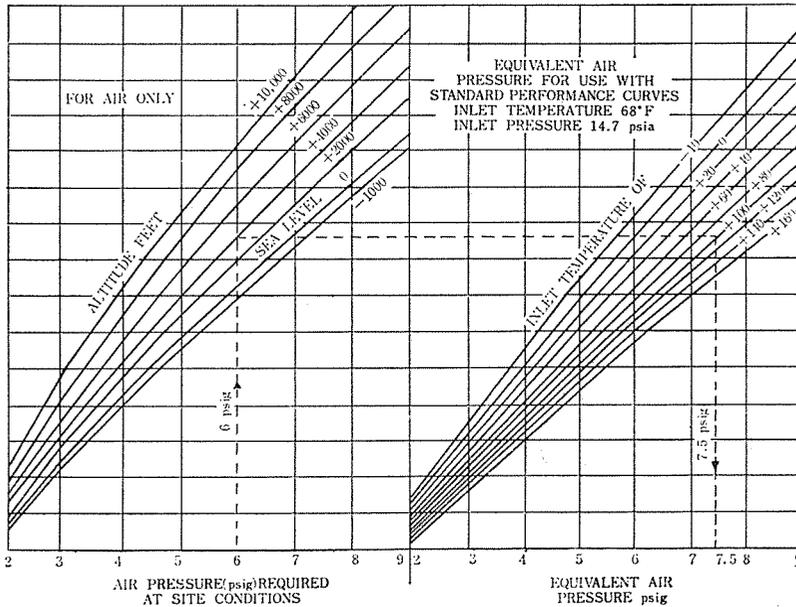
SCFM：標準狀況下之空氣量 (即其空氣密度為 0.075lb/ft³ 時)，cfm。

表三、地面高程與絕對大氣壓力之關係

平均絕對大氣壓力		
高程 (以海平面為基準)	汞柱 (英吋)	磅/(吋) ² (Psia)
- 1,000	31.00	15.2
- 500	30.50	15.0
sea level 0	29.92	14.7
+ 500	29.39	14.4
+ 1,000	28.87	14.2
+ 1,500	28.33	13.9
+ 2,000	27.82	13.7
+ 3,000	26.81	13.2
+ 4,000	25.85	12.7
+ 5,000	24.90	12.2
+ 6,000	23.98	11.7
+ 7,000	23.10	11.3
+ 8,000	22.22	10.8
+ 9,000	21.39	10.5
+10,000	20.58	10.1

(2)風壓修正

簡易之風壓修正方法可如圖十三所示，例如在 4,000 英尺高度及入口溫度為 100°F 之所需風壓為 6.0psig 時，經查圖可得經修正之相當空氣壓力 (EPA) 7.5psig。



圖十六 風壓修正之關係圖

另亦可如下列步驟計算經修正之較精確風壓。

$$(a) \gamma_s = \frac{A + \rho_2}{A}$$

$$(b) X_s = (\gamma_s - 1)$$

$$(c) X_c = X_s \left(\frac{T_1 + 460}{528} \right)$$

$$(d) \gamma_c = (X_c + 1)$$

$$(e) EPA = 14.7(\gamma_c - 1)$$

其中 γ_s : 出口與進口絕對壓力之比值

P_2 : 出口錶壓力, psig

又 $P_2 = \frac{\gamma_w \cdot H}{144} + P_1 + P_f$ (γ_w : 水之比重, lb/ft³; H : 氣泡釋出點之水深度, ft; P_1

: 進口壓力; P_f : 曝氣系統中摩擦損失之總和)

X_s : 現場之溫度因子

X_c : 鼓風機標準曲線之溫度因子

γ_c : 標準進口狀況之壓力比率

EPA : 在標準狀況選擇鼓風機時之相當風壓

(3) 馬力修正

曝氣系統中理論上鼓風機可由下式計算之 :

$$ThP = 0.00436 Q_s \cdot EPA \cdot \left(\frac{R}{R-1} \right) \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{R-1/R} - 1 \right]$$

其中 R 為壓縮係數, 空氣為 1.395

如係由鼓風機之標準性能曲線查出驅動馬力為 HP_c , 則須經修正其實際所需之驅動馬力 (HP_s)。

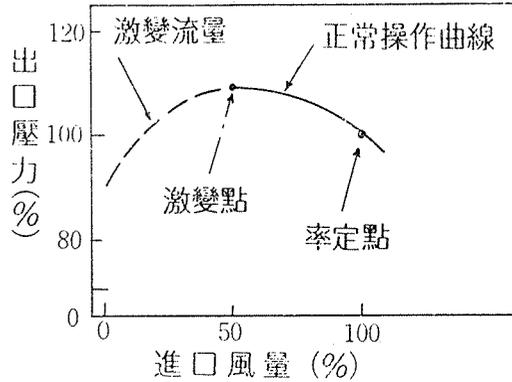
$$HP_s = \left(\frac{A}{14.7} \right) \left(\frac{528}{460 + T_1} \right) HP_c$$

一般對於風量大於 15,000cfm 之離心式鼓風機效率為 0.7~0.8; 而風量小於 15,000cfm 之回轉式鼓風機效率為 0.67~0.74。又一般鼓風機對散氣式曝氣系統生物處理法所傳送之氧量為 1.5~2.5lbs/hp/hr。

7. 鼓風機於操作上之困擾及其防止對策

(1) 激變現象

如關小離心式鼓風機之出口風量時會增加系統阻力, 當其阻力大於鼓風機所能產生之風壓時, 則發生脈動現象 (pulsation), 其放出風量受到阻礙而發生噪音引起振動, 以致於鼓風機無法運轉, 此種現象稱為激變現象 (Surging), 發生激變之範圍如下圖十七所示。



圖十七 激變現象與出口風壓及進口風量之關係圖

一般而言，發生激變點隨著葉輪的設計法、壓力之高低以及鼓風機之形式而異，大都發生在設計風量之50%左右。如果壓力愈高，動力愈大，激變現象也愈顯着而無法正常運轉；反之，風壓低，動力小的機器即使稍微發生激變現象，亦可能不受注意而繼續運轉。

吾人須留意的是即使輕微之激變亦可能造成鼓風機本身甚或整個供氣系統之損害。爲了避免發生激變現象，須使曝氣系統之所需風量大於鼓風機之最小安全風量，即遠超過激變點。另有防止發生激變現象之方式如下：

- ①放掉或繞流出口之風量。
- ②限制進口風量之流通。
- ③調整馬達之轉速。
- ④調整葉片之角度。
- ⑤降低系統壓降。

(2) 噪音困擾

鼓風機之操作運轉，將對周圍環境將會引起噪音問題，尤其是經加速之馬達帶動鼓風機者，其發生之噪音問題更爲嚴重。故設計工程師亦須對此問題留意，以臻盡善盡美。

一般人對於80分貝 (dB) 之噪音量尚可被接受；如噪音介於 80~90 分貝之間，則尚能某種程度之忍受；如超過90分貝以上，則其噪音將令人十分厭煩。故考慮噪音之擴散須於鼓風機送風系統中之任何點 1 公尺外之噪音以不超過80分貝爲原則。當然，尚須配合當地有關噪音防治法規及工業安全條例。

鼓風機如係安裝於密閉之機械房內，則採用雙層隔牆，內置波麗龍將是最有效之噪音防制方法；較爲簡單者，可於機械房四周牆貼波麗龍板、或用磚塊作爲隔牆而表面未經水泥砂漿粉刷或貼其他良好之隔音之建材等均可酌量減少回音。此外，於送風管中線亦會產生噪音，最主要是由氣體在管線中之流動所引起，故設計之空氣流速不宜過大。最重要者，於鼓風機之進出口管線中均加裝消音器 (Silencer) 將可有效地減少噪音。

(3) 鼓風機或散氣器之阻塞

鼓風機操作進行中，由於吸入口吸進大量之空氣，如未能篩濾，則污穢之空氣進入鼓風機或散氣器中，勢必影響原有機械性能以及設計功能。

乾式之空氣過濾器乃為理想之鼓風機過濾器，可有效地篩除有害污穢物及外來之物質。其設計規範要求為至少有90%以上之效率可去除 10micron 或更小之空氣顆粒，對於乾式過濾器均可達到99%以上之效率，該設計須有足夠之空氣過濾器面積始可達到預期效果。同時為了偵測過濾器是否已經阻塞，可於其排出口裝設風量計或差壓計，俾能隨時消除阻塞物，以維護散氣式曝氣系統之機械設備。

8. 鼓風機於安裝上應注意事項：

8.1 鼓風機配置之計劃

首先須考慮長時間安全確實的運轉與將來之擴充計劃，然後再慎重決定鼓風機的配置。所以鼓風機房以獨立興建為宜，因其發出噪音與壓縮熱；又該機械主體亦應放置於地板上與其天花板須有起重機裝置，俾便於修理與維護。鼓風機房亦應防止塵埃、濕氣、腐蝕性氣體之侵入，並保持清潔，尚且要設置照明、換氣設備。

鼓風機測定用儀器、與馬達有關之配電盤、或自動調整裝置及控制台等設置地點須於可以看見鼓風機、馬達的控制室內，俾便於操縱與監視。另有關軸承溫度計、震動開關、電流表以及電動機開關為不可或缺之鼓風機偵測儀器。

8.2 基礎之設計

因鼓風機係高速回轉，故薄弱之基礎常是震動之主要原因，因此設計基礎須十分留意。

(1) 基礎重量應為鼓風機重量之二倍以上。

(2) 基礎下部之地盤必須為均質，俾避免發生龜裂現象。

(3) 基礎須為一整體，並具有足夠之剛性。

(4) 基礎與建築物、柱、壁、床等不可直接接觸，又灌造二部以上基礎時，其間均必須斷緣（如安置厚橡膠）以防止傳達震動。

(5) 基礎螺栓必須預埋，如不能鑿埋，其位置需配合鼓風機底座。

(6) 基礎須使用 210kg/cm² 壓力強度之鋼筋混凝土，於澆灌後須確實保養，並至少須經 14日後始可按裝鼓風機。

8.3 按 裝

於按裝鼓風機之基座（Baseplate）與基礎（Base）中間須插入墊板以調整鼓風機之基座為水平，並使基座與基礎間留有空隙，以便灌入混凝土。

大型之鼓風機，墊板要機械加工成為斜面，方能容易地精密調整水平，調整後要固定焊接，使楔板的位置不致因運轉而發生位置變動的情形。

8.4 配管按裝

配管要正確位置，不可使鼓風機有勉強受力的現象，亦不可使管的重量加在鼓風機上，俾避免鼓風機之震動而扭曲配管系統。

9. 鼓風機之保養

為了使鼓風機之正常、安全地運轉，保持長久之壽命，故必須充分地保養機器。

9.1 運轉時之保養

機器的運轉情況，每隔一定時間須加以記錄，包括溫度、動力以及起動、停止、使用狀

態的變化等也要詳細記錄。記錄數字如有急遽變化，即可能為發生故障之前兆，須詳加檢討以防患於未然。

9.2 停止時之保養

長期停止使用時，也要一年一次或二次的定期檢查。保養不祇是葉輪、機殼、潤滑等機械本身，尚須包括所有附屬之機器或運轉中所使用之測定儀器亦須一併檢查與保養。

十、鼓風機送風系統中風量之控制

一個操作之曝氣系統中常因功能設計、處理條件或曝氣槽中溶氧狀況等因素而有調節空氣量之必要。然而欲減少空氣量時，鼓風機之調節風量範圍不能低於激變點（Surge Point），故最多也僅能降低20~30%。又以節省能源之觀點為之，則鼓風機風量之控制，通常於吸入口側減少控制閥之開度。輪機型（Turbo型）鼓風機亦可於出口閥控制之，唯如控制量過大就有震動發生；另回轉式鼓風機如於出口控制風量過大，則往往造成機械本身之破損，故設計者須謹慎為之。

1. 控制原理

能有效地控制曝氣池之 DO 不僅對於處理水質或節省能源之觀點均是非常重要的。而一般控制方法有以下四種模式：

(1) 與污水進流量成比例之控制

本模式之控制方式之空氣流量為進入污水量之 3 ~ 7 倍，該倍數須經由長期操作經驗決定之。

(2) 固定 DO 值控制方式

即以維持曝氣池中 DO 一定值作為生物反應之指標來控制空氣流量，本方式於曝氣池中之溶氧量平衡可由下式表示之：

$$\frac{d(DO)}{dt} = KLa (DO_s) - Rr$$

- 其中 DO : 溶氧量 (mg/l)
KLa : 總傳氧係數
DO_s : 飽和溶氧濃度 (mg/l)
Rr : 耗氧率 (mg/l/min)

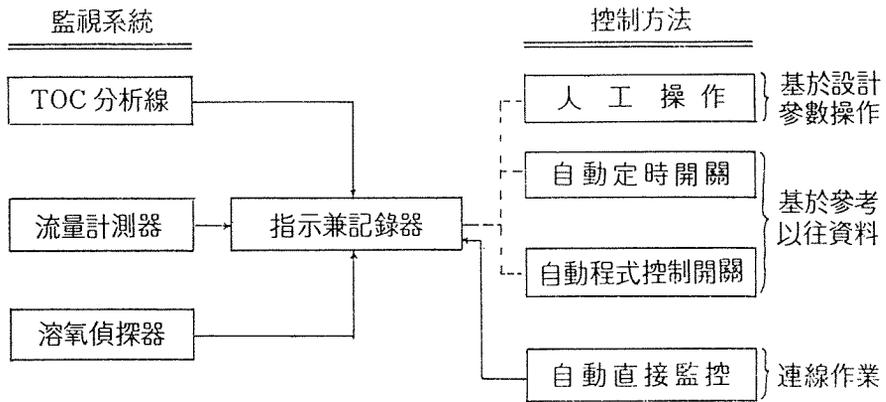
(3) 固定 DO 值與進流污水量調整一併控制

本控制方式即於固定 DO 值控制外，並針對進流污水之改變隨時調整空氣流量，俾較能準確地供給所需氧量。

(4) 藉攝氧率控制 DO 值

本模式乃藉曝氣池中微生物之攝氧率與 DO 值間之關係來控制空氣流量，唯本法涉及較為複雜之理論及儀錶設備，其維護費用亦高。

基於以上控制原理，設計者可利用如圖十八之流程作為儀錶程序控制。



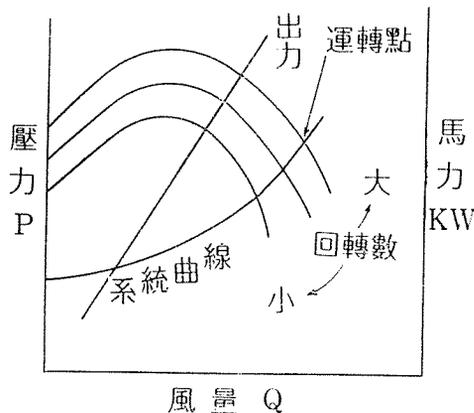
圖十八 輸氧儀控流程圖

2. 控制方法

控制空氣流量之方法，除了回轉式鼓風機因其性能關係，僅能利用多台並聯運轉及改變轉速控制外，輪機型鼓風機則可作多種方式控制流量，茲介紹其控制方法以及其引起鼓風機性能之改變情形。

(1) 調整吸入口控制閥

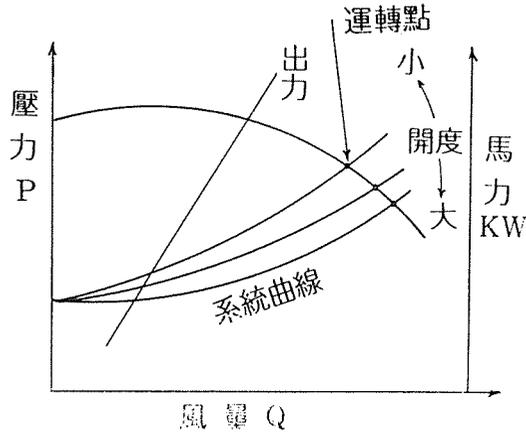
此包括調節鼓風機葉片之角度以及吸入口之空氣流量兩種方式。其操作時送風量與壓力之關係如下圖十九，本控制方法之原理較為簡單，對節省能源之效果亦最大，為最普遍使用之空氣流量控制方式。



圖十九 控制吸入口風量之性能變化圖

(2) 調整出口控制閥

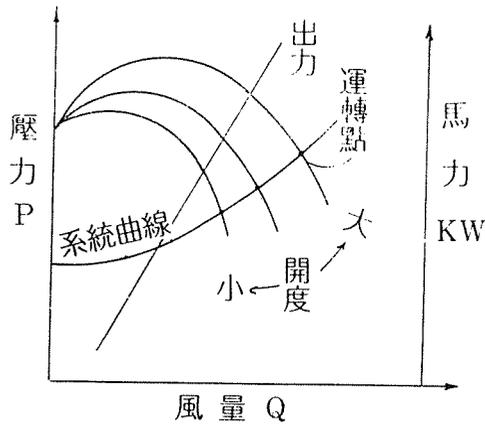
即調節鼓風機出口控制閥，以增加或減少系統曲線之壓降，而達到控制空氣流量之目的。其操作之性能關係如下圖廿，本方式之鼓風機性能運轉曲線並未改變，其節省能源亦極為有限，較少被應用。



圖廿 控制出口風量之性能變化圖

(3)控制回轉數

即利用變速馬達來控制鼓風機之轉速，以達到控制空氣流量之目的。其運轉之性能關係如下圖廿一，本控制方式僅適用於小馬力之鼓風機（約50馬力以下），如為大馬力之鼓風機，縱然其初設費及維護費均高，但其優點為能大量節省能源。



圖廿一 變速馬達調節風量之性能變化圖

3.經濟效益

根據日本下水道協會提出之研究報告指出：一個良好之散氣式自動控制供氧量曝氣系統，其在能源消耗上可從 1.8KW/kg、BOD 降至 1.1~1.3KW/kg、BOD 之間，節省能源幅度達25~40%。故如以長期運轉觀點而言，其控制系統之初期投資是值得的。

活性污泥系統污泥控制對策之簡易判定方法

曾 迪 華*

一、前 言

過去設計活性污泥系統時，曝氣槽和終沈池常被視做兩個互不相關的個體，直到 Dick⁽¹⁾ 等提出關於終沈池之固體物濃縮功能 (solids thickening function) 的研究後，今日曝氣槽和終沈池間相互影響的關係已被考慮。例如，當污泥迴流率減小至某一程度時，將使終沈池之濃縮容量 (thickening capacity) 呈現超負荷狀態，此乃由於污泥由終沈池底部傳送回曝氣槽的速率，較污泥由曝氣槽送入終沈池為小，其淨結果，污泥由曝氣槽不斷地送入終沈池。當終沈池內污泥體積增加，則污泥層 (sludge blanket) 逐漸上昇，假若此種超負荷的狀態繼續維持一長時間，最終污泥層的頂部將到達終沈池的池面，使得活性污泥隨放流水溢出，而破壞放流水水質。此外，假如此種無意的污泥流失率很大，將使操作人員無法控制活性污泥系統的總污泥廢棄率 (overall sludge wastage rate)，進而使得此系統的污泥停留時間 (sludge retention time, SRT) 失去控制，並破壞整個處理廠的操作功能。

故此，活性污泥系統欲獲得正常的程序控制，必須要適當的操作終沈池，同時要解決曝氣槽所發生的操作問題，有時亦可能要有良好的終沈池污泥控制。本文之目的乃介紹一種快速、簡單且相當有效的圖解方法⁽²⁾，以幫助廢水處理操作人員，在操作活性污泥系統時，如何判定適當的終沈池污泥控制對策，以確保整個處理系統的操作功能。

二、基本考慮

圖一所示為一活性污泥系統簡圖，由圖中終沈池之流量平衡得知：

流出終沈池流量 + 迴流污泥流量 = 流入終沈池流量

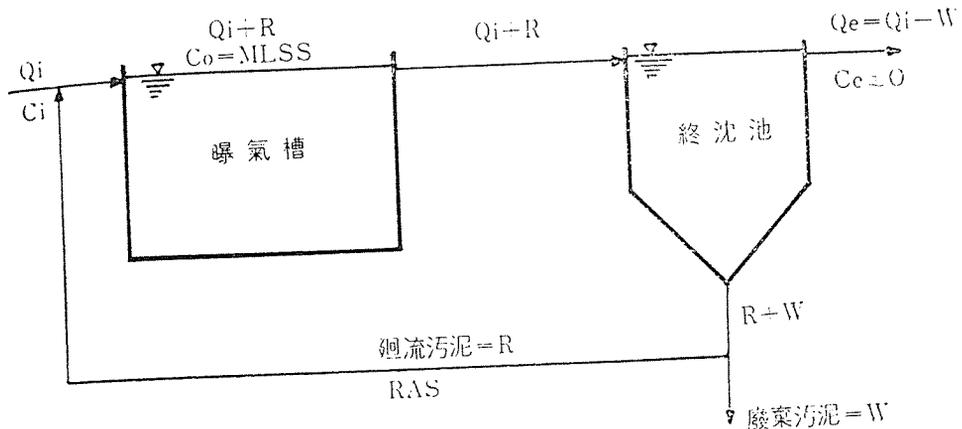
其次，若處理廠操作功能良好，且終沈池溢流水中懸浮固體物濃度甚小，則可假設 $C_0 \approx 0$ ，此時，根據終沈池之固體物質量平衡，可獲得下式：

$$\frac{\text{流入終沈池流量}}{\text{迴流污泥流量}} \times \text{曝氣槽內混合液懸浮固體物濃度} = \text{迴流污泥濃度}$$

式中流入終沈池流量除以迴流污泥量相當於一濃度因子 (concentration factor)，其表示迴流污泥在終沈池內所必需獲得之濃度程度，此相當於所有流入終沈池之懸浮固體物，經沈澱濃縮後，迴流至曝氣槽或廢棄。

流入終沈池之懸浮固體物數量的多寡，因下列兩因素而異：

* 國立中央大學土木工程研究所副教授



圖一、活性污泥系統簡圖

1. 曝氣槽內混合液懸浮固體物濃度，即MLSS濃度；
2. 流入終沈池之流量。

假若經由曝氣槽進入終沈池之流量增加，進入終沈池之固體物數量亦增加，當此種情形發生，僅有三種方式可用來移除終沈池內所增加的固體物：

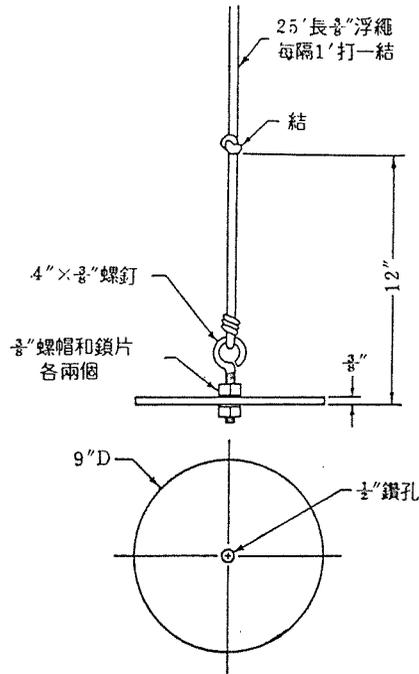
1. 增加迴流率，或
2. 增加迴流污泥固體濃度，或
3. 在某些情況必須增加污泥廢棄率。

假如不採取上列三者之一的控制對策，以移除終沈池所增加的固體物，則終沈池內污泥層的高度將逐漸上昇，直到它們從溢流堰中流出。為了確保活性污泥系統在操作狀態改變時，仍可正常操作，如何選擇適當的控制對策，以減少終沈池內固體物的累積，乃是相當重要的。

三、採樣分析方法

在選擇終沈池污泥控制對策之前，必須進行下列之採樣試驗項目：

1. 分析曝氣槽之MLSS濃度。本文所介紹之方法，並不需進行許多實驗分析，以控制活性污泥程序，但必須每日採樣分析曝氣槽之MLSS，以確立一個適足的操作範圍。
2. 計算濃度因子。自曝氣槽和終沈池（或迴流污泥管線）分別採取混合液懸浮固體物（MLSS）和迴流污泥（RAS）小樣，再以離心機將同體積水樣之固液分離，讀出管底污泥所佔體積百分比，然後將% RAS除以% MLC（即迴流污泥離心後所佔體積百分比除以混合液污泥離心後所佔體積百分比）即可獲得一濃度因子。
3. 量測終沈池之污泥層高度。採用如圖二所示之污泥層測定器（Sludge Blanket Locator），其構造非常簡單，為一浮繩（floating rope）下懸一金屬圓盤（metal disc），繩上每隔12英吋（或適當間距）打一結。量測時，將圓盤投入池中並逐漸放繩，當觀測時，停止放繩，且小幅度激烈地拉扯繩索，若圓盤在污泥層之上，則僅有



圖二、污泥層測定器⁽²⁾

水從盤面湧流，如此繼續多次放繩、觀測，直到圓盤進入污泥層時，則拉扯繩索即可觀察到污泥從盤面湧流。一旦已找到一大約的污泥層高度，可在另一觀測點，重新進行量測，如此重覆數次後，即可確定污泥層頂部的位。最後將圓盤拉出池外，並計數繩上的結數，則可求得污泥層上的水深。用此方法量測污泥層深度，其誤差通常小於 6 英吋。

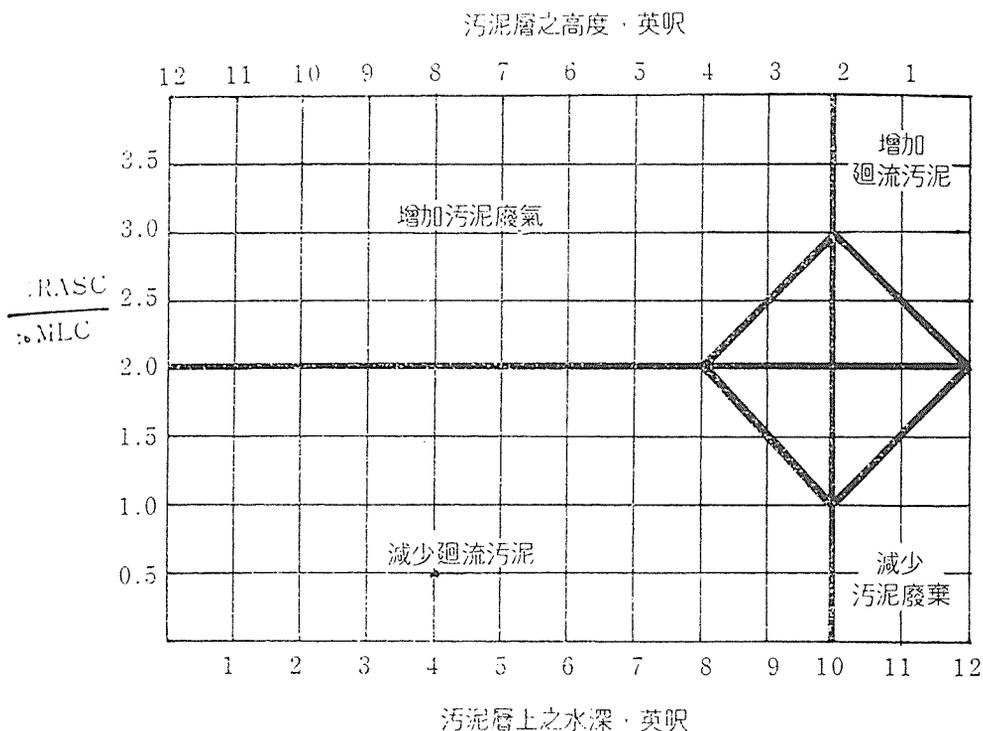
四、終沈池污泥控制對策之判定

當已採得曝氣槽和迴流污泥水樣，量測了污泥層深度，且已將水樣離心，決定了相對的濃度因子，下一步驟將是如何利用這些資料，以決定需要採取何種終沈池污泥操作控制對策。其實方法非常簡單，只要將已知資料點繪入如圖三之圖形中，然後依點在圖上座落之位置，決定採取何種控制對策。依圖三所示，有下列五種情況：

1. 減少迴流率

若點位於圖三左下方位置，此表示即使終沈池內污泥層很高或深，但其固體含量很低。一般而言，操作人員發現終沈污泥層很高時，第一個反應通常是馬上增加污泥迴流率。但若是污泥層高而濃度低，徒增加迴流率，只是會對終沈池造成更大的水力負荷 (hydraulic pressure)，其結果通常是使固體物更易從溢流堰流失。

所以，點若位於圖三左下方時，必須減少迴流率，如此將使得污泥在終沈池內有較長的停留時間，而可增加迴流污泥的濃度，同時，亦可以減緩由曝氣槽而來的流量，進而減少進



圖三、活性污泥系統污泥控制對策之判定圖⁽²⁾

入終沈池的固體物數量。最終由於污泥層內污泥濃度愈高和進入終沈池的污泥量愈少，將使得污泥層高度降低。

2. 增加迴流率

假若點位於圖三右上方，意即迴流污泥濃度高，但污層淺。此表示污泥固體物在終沈池內停留過長，可能成為腐敗污泥 (septic sludge)，當其迴流至曝氣槽時，將使得曝氣系統須供給超過所必需的瞬間需氧量 (immediate oxygen demand)。

此外，過長的污泥停留時間將使得污泥內之生物活性退化，而主要的微生物是有柄纖毛蟲 (stalked ciliates)，當其迴流至曝氣槽時，它們不能立刻分解有機物質，而必須經過一段的適應期 (recondition period)，迴流污泥適應期所需時間長短，相當於減少曝氣系統之效果同樣長度時間。為避免污泥過度腐敗和污泥品質不良，由圖三右上角指出必須增加污泥迴流率。

當污泥迴流率增加時，將使污泥愈快從終沈池底移除，且愈快回到曝氣槽，同時終沈池將承受更大的水力負荷，而可減小污泥腐敗的程度和使污泥層蓬鬆，其結果將使污泥中之微生物花費更長的時間於曝氣槽內，而縮短在終沈池內之停留時間。

3. 減少污泥廢棄量

若點位於圖三右下方，此表示沒有足夠的污泥以濃縮或形成一污泥層。解決的方法乃是必須減少污泥廢棄率，以允許此系統趨於穩定。此種情況亦表示沒有足夠的微生物可適當的

4.增加污泥廢棄量

若點位於圖三左上角，意即污泥濃度高且量很多，假使曝氣槽內之MLSS濃度已在或大於操作之最適程度，則沒有任何選擇餘地而必須增加污泥廢棄率，因任何流量或微生物生長率的增加，都將使污泥馬上從終沈池溢出，同時，大體積高濃度的污泥將迫使生物處理系統，因需維持微生物呼吸作用，而使得曝氣槽內需要更大量的氧量，此外，亦可能由於需要再曝氣已腐敗的污泥而需供給額外的需氧量。假若曝氣設備之容量已至極限，而仍無法滿足由於污泥腐敗和呼吸作用所增加之非必要的需氧量，將使整個系統變為腐敗。

增加污泥廢棄率，將可降低活性污泥系統內的污泥體積，而當污泥體積在控制條件內，則可依所定的操作指標，控制MLSS污泥濃度。

5.操作正常

圖三之菱形範圍，為操作人員所期望之正常操作目標(target)，若點位於此範圍內，則表示此活性污泥系統操作正常，不需採取任何控制變化之對策。但必須注意，圖三之目標操作範圍大小，有時需依處理設備之實際操作狀態做適當的調整，同時圖三所表示的正常操作迴流率為100%，終沈池之池深為12英尺，若使用在其他情形，則圖三必須重繪，以符合該廢水處理廠的實際狀況。

五、結 論

本文所介紹之方法，因其採樣分析簡單迅速，且將所有控制方程式加以簡化並以圖形表示，雖然其結果並不能精確地指出必須採取多少的修正，然而它能指出一個方向，幫助操作人員迅速地改正問題或建立控制，故頗值得廢水處理廠操作人員參考採用。

參 考 文 獻

1. Dick, R.I., "Thickening Characteristics of Activated Sludge," *Advances in Water Pollution Research*, University of Texas Press, Austin, 625-642, (1969).
2. Snelling, D.P., "The Magic Diamond—Move in the Right Direction to Control Your Sludge," *Operations Forum*, A WPCF Publication for Wastewater Professionals, Vol. 2, No. 3, 10-13, (1985).

投菌活性污泥法的研究及其應用

洪永哲* 于忠民**

內容提要

本論文闡述了投菌活性污泥法的基本概念，和七種細菌的功能特性。盡管投菌活性污泥法 (Application of Bio-Augmentation Process With Liquid Live Microorganisms) 是美國近 10 年來新興的一門污水處理技術，但它已實地應用，並收到了良好的效果。

文章從投菌活性污泥法處理馬鈴薯廢水定性試驗成果論述了投菌活性污泥法、產泥量少、分解有機物質效率高、節省能源、硝化作用顯著等優點。

一、引言

儘管，世界上採用投菌法用於醫藥、食品、釀酒等工業上已具 30 多年的歷史了，但是，在污水處理上的應用，卻只有 10 多年的歷史。投菌活性污泥法 (Application of Bio-Augmentation Process With Liquid Live Microorganisms) 與傳統活性污泥法比較，在概念上有其根本不同。傳統活性污泥法是在曝氣池內，為微生物提供一定的環境，依靠微生物的代謝過程，去除廢水中的各種有機質成份。然而，曝氣池混合液內的微生物絕非十足，而經常是有用的細菌沒有或細菌活性較差，以致使污水處理喪失了某一方面的功能，日積月累，成了污水處理廠的疑難問題。特別是當代，隨着工業發展，城市人口的高度集中，在城市污水處理中，不僅水量愈來愈大，而且含工業廢水成份也愈來愈增多，水質成份較複雜，諸如工業廢水中的有害物質；由於工業廢水排入所引起的沖擊負荷；污水中浮油問題，城市下管道油垢游積問題；以及隨着季節變化，冬季時污水處理廠的硝化作用減弱，出水水質含氨氮量增高等等，都是人們所關心的問題。當然，傳統活性污泥法還有每處理 1m^3 水約需要 $0.2\sim 0.3$ 度電能，它不僅消耗能源，而且，污泥量大，通常，污泥的處理和處置費用要佔污水處理廠總費用的 $\frac{1}{3}\sim\frac{1}{2}$ 左右，因此，多年來，各國圍繞着節省能源與少佔土地進行着工藝方面的不少改革，但是，這畢竟是有限的改進。

投菌活性污泥法是與之不同的新概念，它以將具有強活力的細菌投入曝氣池裏去，使曝

* 美國克利夫蘭州立大學土木工程系教授

** 美國克利夫蘭州立大學土木工程系副研究員

氣池混合液內的各種細菌處於最佳活性狀態，這樣，不僅投入了曝氣池內所缺少的細菌，在流入污水水質不變的條件下，微生物氧化作用顯著，而且，當污水水質改變，環境變異的情況下，微生物仍能適應，其氧化代謝過程依然充份，污水處理廠耐沖擊負荷，提高了處理效果，改善了出水水質。

投菌活性污泥法是根據在同一環境裏，最適應的細菌能自然繁殖，同樣，污水處理廠曝氣池混合液內的細菌也會自然繁殖到一定數目，自然界無處不可找到細菌，然而，在同一環境裏並非可以找到一切細菌這一原則^(3,4) (The ubiquity principle states that bacteria can be found anywhere; it does not state that all bacteria may be found in any specific environment.) 作為理論指導，從自然土壤內篩選出污水處理中的有用細菌，投入曝氣池內，該方法的應用已收到了良好的效果。

目前，美國已有幾家生產這種特殊細菌的工廠了，例如：(1)美國公共環境科學技術公司 (General Environmental Science Corporation) 簡稱 GES 公司。(2)帕雷白克公司 (Polybac Corporation)。(3)流量試驗室 (Flow Laboratories)。(4)斯伯郎公司 (Sybron Corporation)。(5)賽萊尼斯公司 (Celanese Corporation)。

美國 GES 公司生產的活性菌液具有很強的活性，活性菌液簡稱 LLMO (Liquid Live Microorganisms) 濃度為 5×10^7 細菌個數/ml 其內加入一定劑量的硫化鈉 (Na_2S)，抑制細菌的代謝過程，通常可貯存 1 ~ 2 年菌液由七種細菌組成：⁽⁴⁾

- (1)芽孢桿菌屬 (Bacillus)：兼氣性細菌，依靠體外產生的酵素，分解蛋白質、澱粉和脂肪，把不溶性脂肪分解成能溶於水的甘油 ($2\text{CH}_2\text{OH} \cdot \text{HCOH}$)、脂肪酸 (RCOOH)，供其它細菌進一步分解。
- (2)假單胞菌屬 (Pseudomonas)：兼氣性細菌，能分解各種有機質，能進行硝化作用，把硝酸，還原為亞硝酸，生成氮氣。
- (3)硝酸菌屬 (Nitrobacter)：好氣性細菌，把亞硝酸氧化成硝酸。(Converts nitrite to nitrate in nitrification)。
- (4)亞硝酸菌屬 (Nitrosomonas)：好氣細菌，把廢水中的氨氧化為亞硝酸。(Converts ammonia to nitrite in nitrification)。
- (5)纖維素分解菌屬 (Cellulomonas)：好氣性細菌，能緩慢地分解水中植物纖維素。
- (6)好氣性桿菌屬 (Aerobacter)：能分解碳水化合物 ($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$) 生成脂肪酸 (RCOOH) 和乙醇類 ($\text{CH}_3 \cdot \text{CH}_2\text{OH}$)。
- (7)紫紅色假單胞菌屬 (Rhodopseudomonas)：兼氣性細菌，係活性菌液指示性細菌，在厭氣有陽光條件下呈紫紅色，好氣條件下呈無色。

二、投菌活性污泥法的應用

應用投菌活性污泥法解決污水處理中的疑難問題，已收到了良好的效果，它不僅提高了生化處理的效率；減少污泥量和節約能源，而且，還具有傳統活性污泥法所達不到的效果。

1.對油脂、脂肪處理：

污水中的油脂來自食品工廠、肉類加工廠、餐館和煉油廠等，天長日久污水中的油脂會慢慢沉澱下來，並淤積在管壁上，以致減少了管道的過水斷面，甚至堵塞管道。過去，人們進行管道油物清除是很困難的，而使用投菌活性污泥，簡易可靠，使人們找到了途徑。

投菌活性污泥法是依靠活性菌液（LLMO）中的芽孢桿菌屬（*Bacillus*）具有較強的分解脂肪的能力，把污水或污泥中油脂的物理、化學性質改變了，將淤積在管壁上的油脂能以溶解在水中，隨水流走，得到處理。目前，在美國，使用 2ppm 的生物菌液（LLMO）連續地投入到受油物淤積的管道內，經過 2～6 週，即可消除油污淤積問題。

另外，管道壁上的油脂沉澱物，在厭氣菌的作用下，將污水中的硫酸鹽（ SO_4^{2-} ）轉化為硫化氫氣體， H_2S 再進一步被氧化為 H_2SO_4 ，硫酸與混凝土管道縫隙中二氧化矽和鈣作用，生成粉末狀硫酸鹽使管道腐蝕，有時 2 年就能把混凝土管腐蝕壞。但當投加活性菌液後，不只避免了 H_2S 氣體的產生，消除了臭味，而且防止了管道腐蝕延長了使用年限。

2.防臭方面：

污水處理中的防臭，已引起人們的重視，如採用土地過濾以消除臭味。而採用投菌活性污泥法較簡單、經濟。它是在投菌活性污泥法處理過程中，同時有除臭作用。它依靠強活性細菌將生化處理階段產生的各類有機酸，迅速地分解，達到無機化，把硫化氫氣體氧化為硫酸（ H_2SO_4 ），又投菌活性污泥法脫氮效果顯著，氨臭味也會消除，所以，投菌活性污泥法，能消除污水生化處理過程中因有機酸和硫化氫、氨引起的臭味。

3.污泥厭氣消化方面：

污泥厭氣消化過程包括酸性發酵與碱性發酵兩個過程，這兩個過程是連續的，第一階段酸性發酵的好壞直接影響到第二階段，酸性菌繁殖快，環境條件要求不嚴格，而碱性發酵溫度條件要求嚴格，目前，人們正研究採用兩段發酵來提高產氣量。投菌活性污泥法，依靠 *Bacillus* 菌外酶，具有強活性，能將污泥內的油脂質分解徹底，從而為碱性發酵提供了充足的養料，如果碱性發酵設備容量大，則會提高產氣量。

4.在沉澱方面：

污水沉澱池是污水廠的重要部分，初次沉澱池係前處理，沉澱效果直接受進流水水質影響，污水中懸浮顆粒太細，沉澱效果不好，而投加活性菌液（LLMO）之後將依靠其細菌強活力的分解作用，改變了細小顆粒的結構，使其容易聚合成較大顆粒，提高了初次沉澱池的沉澱效果。

同理，二次沉澱池為污水處理的後處理，當投加活性菌液後能依靠七種細菌的強分解能力，使曝氣池混合液內的氧氣，不會因負荷高而不足，C/N 比保持正常，不會造成二次沉澱池的污泥膨脹。

三、處理馬鈴薯廢水試驗研究

投菌活性污泥法處理馬鈴薯廢水是在試驗室進行的 (Cleveland State University)。用 6 個容積相等的反應槽，每個反應槽容積為 2 升，將馬鈴薯廢水注入，連續曝氣，在#1、#2、#3反應槽內每日投加二次 LLMO，試驗條件如下表：

表-1 各反應槽試驗條件

反應槽	可溶性 TOC (mg/l)	不溶性 TOC (mg/l)	MLVSS (mg/l)	LLMO (mg/l-day)
1#	0	1,000	1,000	1
2#	50	1,000	1,000	1
3#	250	1,000	1,000	1
4#	0	1,000	1,000	—
5#	50	1,000	1,000	—
6#	250	1,000	1,000	—

試驗共進行了28天，從所得各項數據分析，得出投菌活性污泥法的主要優點。現分述如下：

1. pH

由表-2數據看出，投加活性菌液 (LLMO) 的反應槽 pH 值開始增高，而後下降，而

表-2 pH 值試驗數據

時間 (hr)	各反應槽號 (pH)					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0	6.26	6.70	6.61	6.70	6.90	6.70
4	7.10	7.10	6.50	8.10	7.00	6.35
8	7.00	7.05	6.60	6.80	7.10	6.90
12	7.10	7.00	7.00	7.00	7.00	7.32
24	7.10	7.10	7.70	7.10	7.05	7.74
48	7.10	7.00	7.60	6.95	7.05	7.70
72	7.05	6.95	7.52	6.95	7.10	7.53
96	6.80	6.75	7.02	7.01	7.02	7.02
144	7.01	7.02	6.80	5.85	5.75	6.70
216	5.10	6.20	7.00	7.21	4.80	7.10

表-3 TSS、VSS 試驗數據

時間 (hr)	各						反						應						槽						號								
	#1		#2		#3		#4		#5		#6		#7		#8		#9		#10		#11		#12		#13		#14		#15		#16		
	TSS (mg/l)	VSS (mg/l)	% (V/T)																														
0	3,500	2,755	79	3,350	2,615	78	2,755	1,995	72	3,625	2,870	79	4,180	3,365	81	4,020	3,250	81	4,020	3,250	81	4,020	3,250	81	4,020	3,250	81	4,020	3,250	81	4,020	3,250	81
4	4,100	3,390	83	4,105	3,390	83	4,280	3,545	83	3,875	3,150	81	4,015	3,305	82	2,985	2,305	107	2,985	2,305	107	2,985	2,305	107	2,985	2,305	107	2,985	2,305	107	2,985	2,305	107
8	4,020	3,270	81	3,980	3,230	82	3,410	2,640	77	3,885	3,080	80	4,140	3,345	81	3,670	2,890	79	3,670	2,890	79	3,670	2,890	79	3,670	2,890	79	3,670	2,890	79	3,670	2,890	79
12	3,840	3,100	81	4,010	3,260	81	2,850	2,090	73	3,350	2,600	78	4,075	3,265	80	3,920	2,580	75	3,920	2,580	75	3,920	2,580	75	3,920	2,580	75	3,920	2,580	75	3,920	2,580	75
24	4,055	3,310	82	3,715	3,000	81	3,800	3,020	80	4,040	3,215	80	4,060	3,320	82	4,580	3,795	83	4,580	3,795	83	4,580	3,795	83	4,580	3,795	83	4,580	3,795	83	4,580	3,795	83
48	3,950	3,200	81	3,980	3,215	81	3,200	2,420	76	3,930	3,170	81	3,695	2,920	79	3,845	2,990	78	3,845	2,990	78	3,845	2,990	78	3,845	2,990	78	3,845	2,990	78	3,845	2,990	78
72	3,980	3,265	82	3,985	3,230	81	3,405	2,650	79	3,980	3,215	81	4,005	3,235	81	4,170	3,340	80	4,170	3,340	80	4,170	3,340	80	4,170	3,340	80	4,170	3,340	80	4,170	3,340	80
96	4,005	3,215	80	4,030	3,260	81	4,425	3,635	82	3,850	3,090	80	3,805	3,060	80	3,220	2,600	81	3,220	2,600	81	3,220	2,600	81	3,220	2,600	81	3,220	2,600	81	3,220	2,600	81
144	3,935	2,695	79	3,550	2,800	79	3,545	2,775	78	3,250	2,690	82	3,455	2,760	80	3,595	2,840	79	3,595	2,840	79	3,595	2,840	79	3,595	2,840	79	3,595	2,840	79	3,595	2,840	79
216	3,355	2,575	77	3,560	2,745	77	3,330	2,495	75	3,340	2,600	79	3,570	2,750	77	3,550	2,590	73	3,550	2,590	73	3,550	2,590	73	3,550	2,590	73	3,550	2,590	73	3,550	2,590	73
312	3,180	2,400	76	3,080	2,335	76	3,070	2,180	71	3,250	2,430	75	3,270	2,400	75	3,000	2,130	71	3,000	2,130	71	3,000	2,130	71	3,000	2,130	71	3,000	2,130	71	3,000	2,130	71

未投加 LLMO 的各反應槽 pH 值在前 9 天之內，並無下降趨勢。這是因為馬鈴薯廢水，先是在微生物酶的作用下，將高分子糖轉化為低分子糖，進而生成有機酸；而蛋白質水解生成氨基酸，氨基酸再分解生成酮酸 (RCOCOOH)、脂肪酸 (RCOOH)、醇類 (RCH₂OH) 有機酸 (RCHOHCOOH)、飽和脂肪酸 (RCH₂COOH) 和氨等。活性菌液中的細菌將有機酸很快分解，反應開始 pH 值增高，隨後進入硝化階段，氨被氧化為 NO₂⁻ 與 NO₃⁻ pH 值下降。

2.VSS

由表-3數據看出，投加 LLMO 的反應槽與相應的未投加 LLMO 的各反應槽的數值為低，這說明 LLMO 是具有活性很強的細菌液體，能很快地分解廢水中的有機物質，同時也表明污泥量少。

3.TOC

由表-4看出，投加 LLMO 的各反應槽與相應的未投加 LLMO 的各反應槽，可溶性 TOC 數值增大較明顯，表明微生物活性較強，即當廢水中高分子有機物質被去除之後，細菌細胞體外酵素，開始把不溶性有機物分解為可溶性有機物，使 TOC 增大，而未投加活性菌液 (LLMO) 的反應槽 TOC 數值，增加較低。

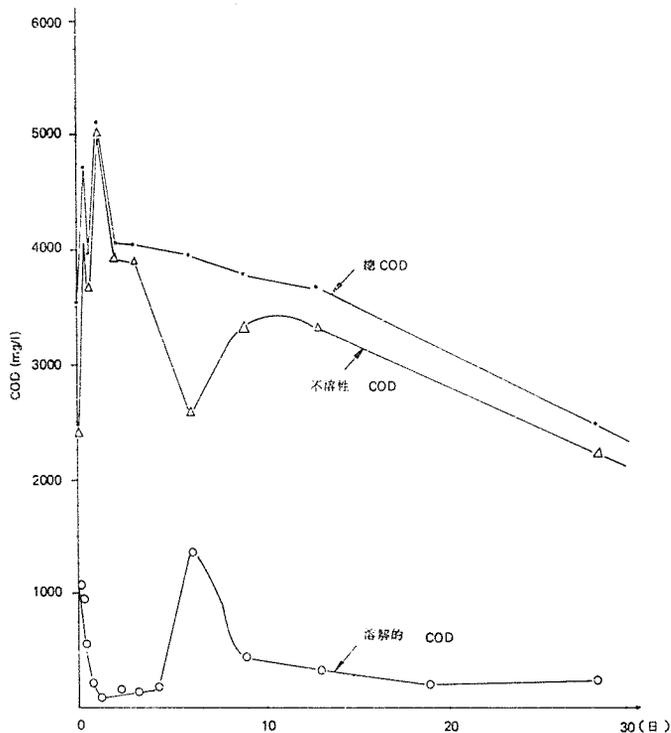


圖-1 #3反應槽 COD 變化曲線

4.COD

由圖-1與圖-2看出，#3反應槽為投加 LLMO，而 #6 反應槽為未投加 LLMO 的反應槽。反應開始溶解性 COD 下降，表明微生物先降解易降解的有機質，當生化反應進行到一定階段總 COD 與不溶性 COD 下降，表明細菌進一步將廢水中的有機物質分解，同時溶解性 COD 上升，而 #3 反應槽 可溶性 COD 上升值比#6反應槽相應 COD 上升值為大，說明投加 LLMO 分解有機質量多，活性菌液中的細菌活躍，活性強。

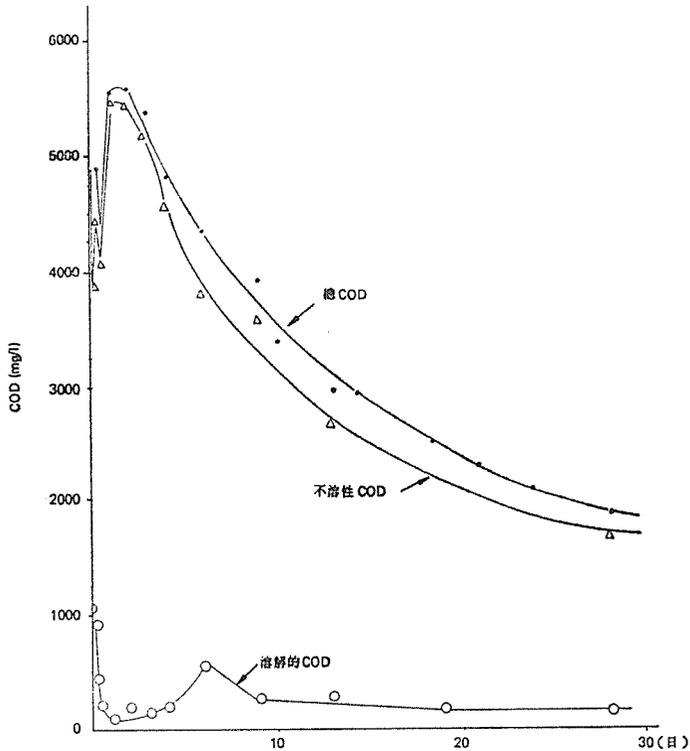


圖-2 #6反應槽 COD 變化曲線

5.污泥沉降性能：

由表-4看出，在反應槽 216小時曝氣時間內，每隔 24小時用 100ml 量筒取 100ml 混合液，靜止沉降30分鐘，隔 2、10、20、30分鐘讀污泥沉降量（用%表示），隨着曝氣時間的增長，每個反應槽內的污泥量愈來愈少，表明微生物將不溶性有機物質分解，而 144小時之後，污泥量開始增加，表明污泥開始老化，有膨脹現象，但是，投加 LLMO 的反應槽污泥量比未投加 LLMO 的污泥量少，表明活性菌液的細菌活性強，有機質分解徹底，污泥保持活性。

表-4 污泥沉降試驗數據

時間		各反應槽號 (%)					
時	分	#1	#2	#3	#4	#5	#6
0	2	49	32	48	50	40	80
	10	25	22	28	24	22	25
	20	19	17	19	18	16	19
	30	16	15	17	16	14	13
4	2	43	42	40	35	27	22
	10	23	22	21	22	20	18
	20	17	16.5	16	17	16	15
	30	15	15	14	15	14	14
8	2	30	45	50	44	42	42
	10	21	23	22	23	22	23
	20	17	18	17	18	17	19
	30	15	16	15	16	16	17
12	2	33	33	83	33	33	35
	10	21	23	40	23	21	23
	20	17	17	29	18	18	19
	30	15	16	23	16	16	17
24	2	39	43	82	48	61	60
	10	21	23	37	25	24	31
	20	17	18	26	20	19	23
	30	15	16	21	18	17	20
48	2	45	53	89	40	43	82
	10	22	23	39	24	25	36
	20	18	19	28	19	20	26
	30	15	16	23	17	17	22

表-4 污泥沉降試驗數據 (續)

時間		各反應槽號 (%)					
時	分	#1	#2	#3	#4	#5	#6
72	2	44	48	94	50	55	94
	10	25	26	52	25	29	60
	20	19	20	36	20	22	39
	30	16	17	27	17	19	30
96	2	46	50	64	80	56	92
	10	23	25	36	32	25	54
	20	18	20	25	23	20	36
	30	17	13	20	20	17	28
144	2	95	96	95	93	95	97
	10	72	71	65	63	70	78
	20	52	51	47	42	50	57
	30	38	39	37	31	38	43
216	2	56	91	94	77	65	94
	10	33	50	75	50	38	78
	20	26	36	50	30	30	60
	30	23	30	43	29	25	48

四、結 論

1. 投菌活性污泥法是近 10 年來新興的一種污水處理工藝，它是鑒於一種新的概念，其主要部分為活性菌液 (LLMO)，一種含有多種細菌的菌液，已應用於油脂、脂肪處理、防臭處理、污泥厭氣消化及初次沉澱池和二次沉澱池上，並取得了良好效果。目前，美國已有幾家專門公司生產活性菌液。如 GES 公司生產的 Liquid Live Microorganisms、紐約生物化學公司 (Ecological Chemical Company) 生產的菌液 (Microbe Life) 等，並逐漸為人們所接受。美國能源部 (U. S. Department of Energy) 在污水廠試驗得出投加活性菌液可節省總能源 65%。⁽⁸⁾

2. 投菌活性污泥法處理馬鈴薯廢水定性試驗得出：活性菌液能減少污泥量，能增強硝化作用，使廢水中的氨 (NH₃) 轉化為硝酸 (NO₃⁻) 與亞硝酸 (NO₂⁻)，使 pH 值下降。活性菌液中的七種細菌具有不同的功能，在一定環境下不同的細菌表現出不同的活性，七種

細菌具有強活性，取自土壤，在污水處理生態平衡過程，投菌活性污泥法是較經濟的。但理論上尚待進一步研究。

References

- 1) American Public Health Association, 1975. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 14th edition.
- 2) Gerardi, H. M., 1982. "Superbugs: Bacteria for Wastewater Plants", Public Works, December, 1982, pp. 37-38.
- 3) Horsfall, F. L., 1979. "Bacterial Augmentation of Wastewater Treatment", Journal of the New England WPCA, 13 (2): 158-163, September, 1979.
- 4) Horsfall, F. L. and B. Gilbert, 1976. U.S. Patent 3,963,576, "Method for Rendering Bacteria Dormant and the Product Produced Thereby", June 15, 1976.
- 5) Hyde, S. Christopher, 1981. "The Growing Business of Bacterial Cultures", Big Cycle, November-December, 1981, pp. 25-28.
- 6) Longaker, J.J., 1982. "Liquid Mixed Culture Bacteria Application to Aerobic Digesters", Report prepared for the Tennessee Valley Authority, Office of Power, Office of Natural Resources, Chattanooga, Tennessee, April, 1982.
- 7) Tamborini, S. M., Richardson, D. S., Horsfall, F. L., 1979. "A New Treatment for Biodegradable Waste", 40th Annual Meeting International Water Conference, Pittsburg, Pennsylvania, Oct. 30-Nov. 1, 1979.
- 8) U.S. Department of Energy, 1983. "Energy Optimization Utilizing Bacterial Augmentation", A study funded by the U.S. Department of Energy, March 30, 1983, Department of Public Works, City of Springfield, Massachusetts.
- 9) Zitrides, G. T., 1977. "Using Customizing "Bugs" for Biological Waste Treatment", Plant Engineering, June 23, 1977, pp. 117-119.
- 10) Horsfall, F. L., 1982. "The Use of Bacterial Augmentation in the Oxidation of Phenol and Hydrocarbon Containing Wastewater", Report presented to the Louisiana Water Pollution Control Association, Monroe, Louisiana, March 18, 1982.

汞在活性污泥處理過程中之動力平衡現象

吳知行*

一、前言

汞是最具毒性之重金屬污染物。早在數世紀以前，由於缺乏對含汞廢水排放法規之制定，導致大量含汞廢水之排放，污染河川，使魚貝類累積過量的汞，而引起對人體健康之嚴重危害。汞在工業廢水中，主要是以二價無機汞化合物狀態存在，在適當的反應條件下，二價汞會接受生物還原作用，變成具有揮發性之汞元素，或經由甲基化（Methylation）而轉變成更具毒性之甲基汞（Methyl Mercury）。因此在過去之二十多年中，環境科學家非常重視汞在自然生態界中之各種轉化與累積現象。

排放到河川中的汞化合物，可以被懸浮物吸附，或經甲基化而轉變成甲基汞。甲基化主要依賴微生物合成某些輔助酵素（coenzyme）的能力。Methylcobalamin 是一種最通常的 coenzyme。另外一種重要的化學動力現象，是細菌還原作用，使無機汞轉變成汞元素。在自然界中，還原與揮發，乃是微生物用以減低毒性汞之手段，以允許微生物的繼續生長。

汞在自然界中的各種化學動力現象，亦可以在活性污泥處理法的各項單元程序中顯現出來。在這些處理單元中，綜合了大量的微生物，以及有利的 pH 和氧化原條件，因此汞就很容易改變本身的化學價數，參予還原化，烷基化，或脫烷基化等反應。此外活性污泥對於汞來說，是具有相當程度的容忍與適應能力，和良好的吸附作用。本研究的目的，乃是探討在活性污泥處理法中，有關汞的生化與物理反應的動力平衡問題，並利用質量平衡數學模型，計算汞在各項反應現象中的分配情形。

二、參考文獻

一個利用小規模的培養基實驗，發現汞的濃度在 2.5 至 5.0mg/l 之間，可以發生抑制活性污泥對有機物的轉化作用。但是這種抑制現象，可以利用延長污泥的平均年齡（sludge age），予以克服。實驗同時發現，污泥的最大生長速率，在汞濃度高達 1000mg/l 以下，並不受到很大的影響。活性污泥對汞的吸附平衡飽和值，在汞含量為 0.1 至 1500mg/l 的範圍內，可以高達 0.1251bsHg/lb sludge。另外一個在 Cornell 大學所作的動力實驗，使用半連續流動式（batch）的活性污泥對於無機汞的處理研究，顯示 0.1 至 16% 的汞，被轉變成甲基汞，71 至 96% 揮發成金屬汞，只有 1 至 2% 保持為二價無機汞，遺留在反應器中。

* 美國北卡羅來納大學土木工程系副教授

表一、合成養液成分

Constituents	Concentrations (mg/l)
Bacto-Peptone	250 as COD
NH ₄ Cl	94
(NH ₄) ₂ SO ₄	75
MgSO ₄ ·7H ₂ O	38
MnSO ₄ ·H ₂ O	3
CaCl ₂	2
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0.19
Buffer	
KH ₂ PO ₄	0.005M
K ₂ HPO ₄	0.01M

表二、活性污泥之操作條件

Run	Feed		Daily Hg ⁺⁺ Input ($\mu\text{g}/\text{d-l}$ of Reactor)	COD Loading g COD/d-l of Reactor)	Sludge Age (Days)	Hydraulic Retention Time (Hours)
	COD (mg/l)	Hg ⁺⁺ ($\mu\text{g}/\text{l}$)				
Control	250	—	—	1.0	12	6
No. 1	250	23	92	1.0	12	6
No. 2	250	230	920	1.0	12	6

Note: All runs were at room temperature

SVI 及 COD，都是依據 Standard Methods 的分析方法。此外並對活性污泥作定期性的微生物檢查。

汞元素的分析是採用冷蒸氣原子吸光法。汞含量在 2 至 10ppb 的範圍內，標準濃度校正曲線，呈直線式關係。

A. 二價無機汞的分析步驟如下：

(一)取 10ml 的樣本，放置於 50ml 的玻璃注射器中 (syringe)。

(二)加入 2ml 含有 20% (w/v) 氯化錫的 1M 硫酸濃液。

(三)搖動 Syringe 約 30 秒。

(四)注射 38ml 的蒸氣到原子吸光譜儀中，並在 10 秒中，紀錄在 257nm 波長下的最大吸收數據。

(五)參照標準濃度校正曲線，求出汞的濃度。

B. 總含汞 (total mercury) 之測定法。

(一)置入 BOD bottle 中，50ml 的樣本，同時加入 2.5ml H₂SO₄，1ml HNO₃，1gram potassium dichromate，和 0.2 gram potassium persulfate。

(二)用錫箔紙封閉瓶口，置於 90-95°C 之水槽中，進行消化約二小時。
 (三)待冷卻至室溫後，取出 10ml 的溶液，依照 A. 法中之二價無機汞測定法進行。

C. 甲基汞 (Methylmercury) 之測定法。

(一)於 50ml 的樣本中加入 15ml HCl, 50ml analytical grade benzene，經過 5 分鐘之激烈搖動後，去掉水層並用離心分離苯層。

(二)用 6ml cysteine Acetate 萃取 40ml 的苯層，然後用離心分離。

(三)從水層中取出 5ml 樣本，依照 B. 法中的總含汞測定法進行。

採用以上所述的汞分析法，進行標準汞溶液的控制測定結果，列舉於表三與表四。

表三、總汞分析結果 (by Cold Vapor Technique)

Aqueous Solution	Concentration ($\mu\text{g/l}$ as Hg)	Absorbance Reading at 253.7nm ¹
1	0Hg ⁺⁺ +0.25MM ²	0.014
2	2Hg ⁺⁺ +0MM	0.067
3	0Hg ⁺⁺ +2MM	0.075
4	2Hg ⁺⁺ +0.25MM	0.086
5	2Hg ⁺⁺ +2MM	0.131

1. Absorbance reading corrected for blank
2. MM stands for Methylmercury Chloride

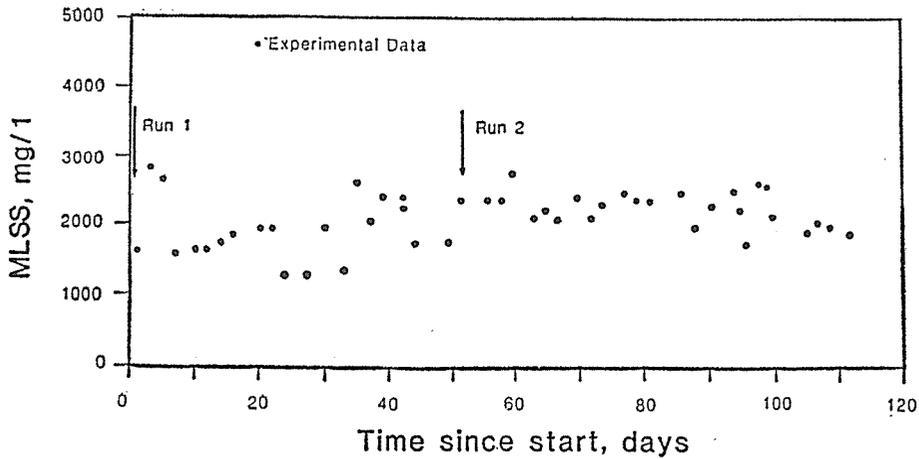
表四、有機汞分析結果 (With and Without Benzene-Cysteine Extraction)

CH ₃ HgCl	Concentration ($\mu\text{g/l}$ as Hg)	Number of Samples	Mean Absorbance Reading at 253.7nm ¹		Recovery (%)
			Extracted	Unextracted	
Aqueous	2	2	.069	.082	84.0+4.2
Aqueous	6	4	.215	.250	85.8+1.6
Aqueous	10	5	.331	.395	84.4+1.2
Spiked Mixed Liquor	10	3	.357	.417	85.7+1.3

1. Absorbance reading corrected for blank and dilution

五、實驗結果

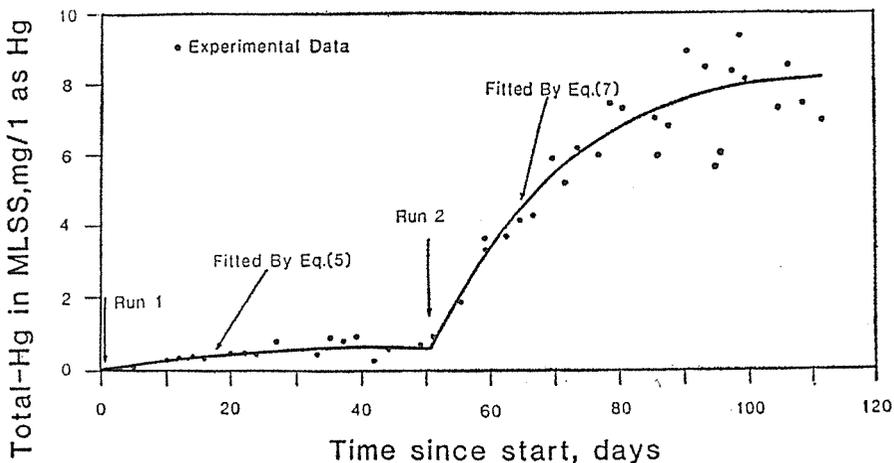
本實驗結果見於表五。圖 2 顯示 MLSS 在整個實驗過程中之變化情形。MLSS 的濃度只有在加入汞以後，略呈下降，但其濃度均能維持穩定。pH 值保持 6 至 7.5 之間，SVI 值低於 100，出流液之 COD 值低於 40mg/l，D.O 含量高於 4mg/l。這些結果說明了活性污泥的處理效能，並不受到汞污染的影響。



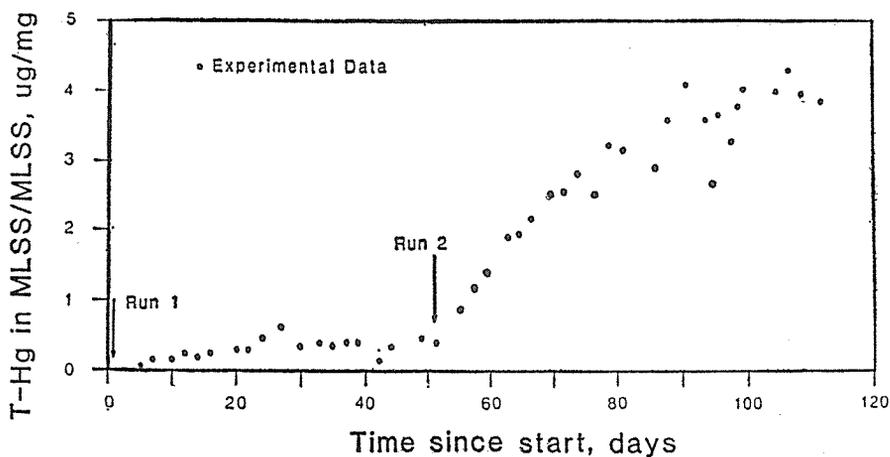
圖二 MLSS 對時間之變化

圖 3，圖 4 與圖 5 總結了活性污泥對汞的吸附和揮發實驗數據。在引進初級汞濃度（23ppb）的實驗期間，活性污泥對汞的吸附平衡值為 $0.4\mu\text{gHg}/\text{mg MLSS}$ ，汞的揮發量為 $16.5\mu\text{gHg}/\text{day}$ 。當汞濃度增至 230ppb，活性污泥對汞的吸附平衡值增至 $3.8\mu\text{gHg}/\text{mg MLSS}$ 。汞的揮發量高達 $108\mu\text{gHg}/\text{day}$ ，然後當活性污泥對汞的累積量增加後，汞的揮發率很快的減低至 $16\mu\text{gHg}/\text{day}$ 。

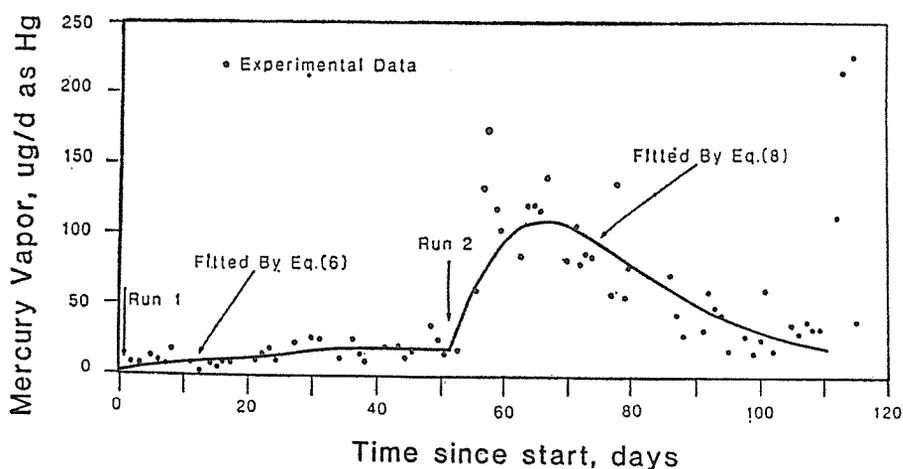
混合液（Mixed Liquor）中的甲基汞含量，在整個實驗過程中很不規律，並顯示了某種週期性之變化。甲基汞在混合液中的含量均低於 2ppb。因此在混合液中的總含汞量與無機汞含量，幾乎相等。在 Supernatant 中，甲基汞的含量幾乎無法測出，無機汞的含量則低於 1ppb。



圖三 MLSS 中總汞含量



圖四 總汞在污泥中之累積量



圖五 從活性污泥系統揮發汞含量

六、質量平衡分析

汞在混合液、蒸氣，和出流液中之分配，可以利用下面的方程式計算：

$$V \frac{d[\text{Hg}]_m}{dt} = Q_i C_i - (Q_i - q) C_o - q[\text{Hg}]_m - [\text{Hg}]_v \quad \dots\dots(1)$$

V = 反應器體積， ℓ

$[\text{Hg}]_m$ = 混合液中之總含汞濃度， $\mu\text{g}/\ell$

Q_i = 入流液流量， ℓ/d

C_i = 入流液中汞濃度， $\mu\text{g}/\ell$

C_o = 出流液中汞濃度， $\mu\text{g}/\ell$

q = 廢棄污泥， ℓ/d

$[\text{Hg}]_v$ = 汞蒸氣收集量, $\mu\text{g}/\text{d}$

t = 時間, d

汞在污泥中之累積現象, 可以用下式表示:

$$\frac{d[\text{Hg}]_m}{dt} = k_1 \{ [\text{Hg}]_{m,0} - [\text{Hg}]_m \} \quad \dots\dots(2)$$

$[\text{Hg}]_{m,0}$ = 混合液中總含汞之平衡濃度, $\mu\text{g}/\ell$

k_1 = 速率常數, d^{-1}

對方程式(2)積分, 得下面方程式:

$$[\text{Hg}]_m = [\text{Hg}]_{m,0} (1 - e^{-k_1 t}) \quad \dots\dots(3)$$

反應器中汞之揮發現象, 也可以用下面數學公式表示:

$$[\text{Hg}]_v = k_2 t e^{-k_3 t} \quad \dots\dots(4)$$

k_2 = 揮發係數, $\mu\text{g}/\text{d}^2$

k_3 = 速率常數, d^{-1}

將實驗數據代入方程式(3)和(4), 即發展出下列方程式:

(a) $23\mu\text{g}/\ell$ 的汞濃度實驗條件:

$$[\text{Hg}]_m = 860.0 (1 - e^{-0.04t}) \quad \dots\dots(5)$$

$$[\text{Hg}]_v = 1.29 \cdot t \cdot e^{-0.028t} \quad \dots\dots(6)$$

(b) $230\mu\text{g}/\ell$ 的汞濃度實驗條件:

$$[\text{Hg}]_m = 7717.0 (1 - e^{-0.05t}) \quad \dots\dots(7)$$

$$[\text{Hg}]_v = 21.59 \cdot t \cdot e^{-0.078t} \quad \dots\dots(8)$$

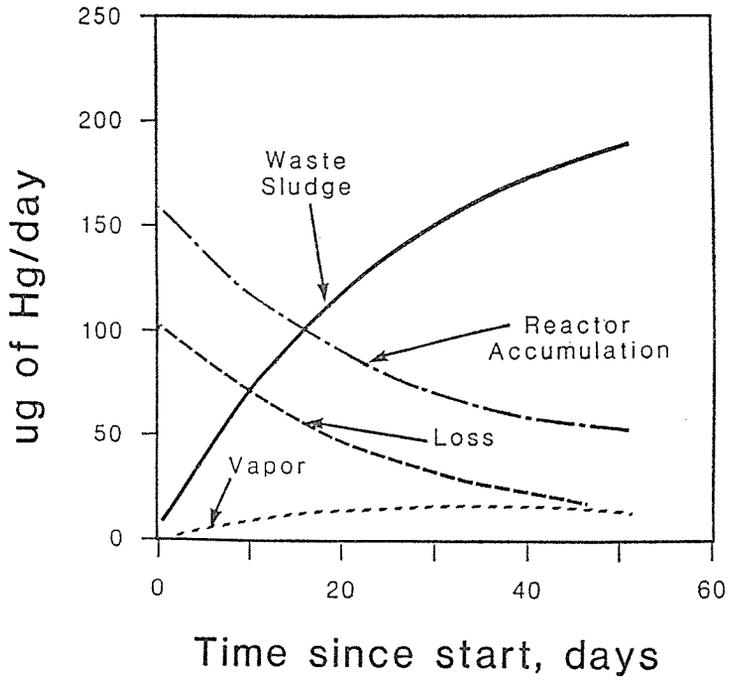
把方程式(5)至(8)代入(1), 可以計算出汞在混合液, 蒸氣和出流液中之分配情形。計算結果如表格 5, 圖六與圖七所示。

表五 活性污泥在穩定狀態之濃度

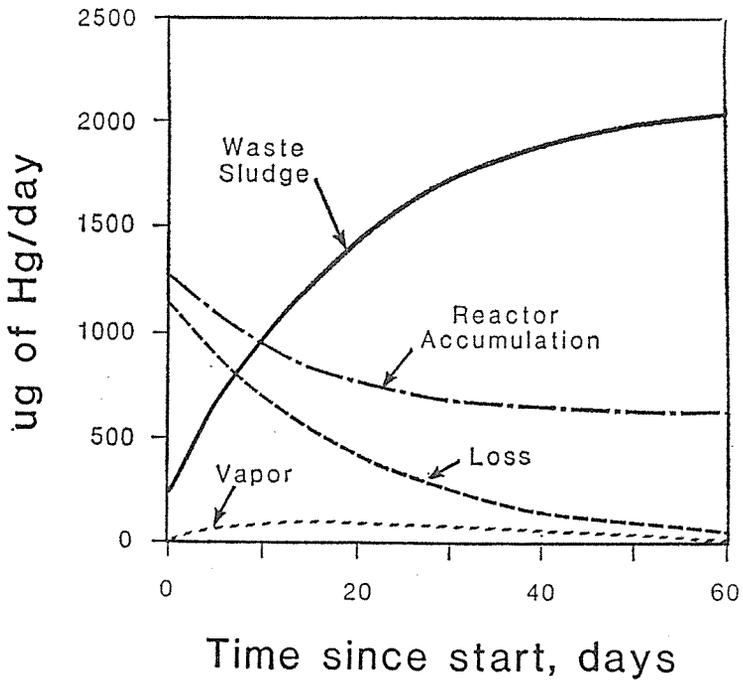
Run	Mixed Liquor Suspended Solids (mg/l)	Daily Hg^{++} Input ($\mu\text{g}/\text{d}-1$ of Reactor)	Weight Percentage Transformed to				Recovery of All Forms (%)		
			Hg^0 in Effluent Gas (%)	Wasted Sludge $\text{Hg CH}_3\text{Hg}^+$ (%)	Retained in Reactor $\text{Hg CH}_3\text{Hg}^+$ (%)	Treated Effluent Hg (%)			
Control	2230	—	—	—	—	—	—		
No.1	2000	92	5.8	67.3	<0.1	5.5	<0.1	2.2	80.8
No.2	2110	920	0.6	74.9	<0.1	2.0	<0.1	0.5	78.0

七、結 論

1. 本實驗發現入流液中之汞, 極大部份為活性污泥所吸附。如果入流液中之汞濃度有高於本實驗的 $230\mu\text{g}/\ell$, 則污泥的吸附平衡值將會高於 $4\mu\text{gHg}/\text{mg MLSS}$ 。對於含有高濃度汞的污泥, 將會帶來污泥再處理過程上的嚴重問題。例如含汞的污泥, 不適合用於掩



圖六 Daily Mercury Balance in Various Phases for Run No. 1



圖七 Daily Mercury Balance in Various Phases for Run No. 2

埋處理。

2. 在氣相中的汞蒸氣，只佔入流液中之汞含量的極少部份。本實驗結果與 Cornell 大學所報導的大量揮發現象，有顯著的出入。本實驗採用連續操作方式，故實驗結果應與一般都市廢水處理廠，情形相似。
3. 本實驗並發現，吸附與還原乃是活性污泥用以降低毒性汞的互輔作用，在剛引進汞之過渡期間，生物還原乃是污泥用以減低汞濃度的主要手段。然而當細菌經過一段適應期間，吸附作用乃是污泥用以去除汞含量的重要物理反應。
4. 甲基化在本實驗所採用的入流汞濃度範圍內，並無顯著之反應現象。

附註：本文作者吳知行博士，任職 University of North Carolina at Charlotte，土木工程系副教授。此文之英文原著，刊登於1985年美國化工學會出版之論文專集“Separation of Heavy Metals and Trace Contaminants”。

通信地址：Dr. Jy S. Wu Dept. of Civil Engineering Univ of N. C. at
Charlotte Charlotte, N. C. 28223 U. S. A.
Tel. 704-597-4178

工業廢水生物處理及應用

陳秋揚*

一、廢水生物處理基本原理

廢水處理的目的乃為去除廢水中的污染質，污染質一般包括溶性與非溶性有機物、不同型式的氮與磷、非溶性的惰性物質，以及其他特殊的無機物。在一個適合微生物成長的環境下，溶性與非溶性的有機物幾乎可經由微生物的作用加以去除，少量的氮與磷可經由生物合成作用而形成新細胞物質，如此使得廢水中的污染質的濃度大為減低。因此，廢水生物處理的主要目的乃為去除廢水中的膠體狀與溶性有機物，使成為穩定的物質，減低對放流承受水體構成水污染的程度。

為達到良好的廢水生物處理效果，必須有賴於：(1)選擇適當的生物處理法，(2)設計合理的生物處理設施，(3)維持良好的生物生長環境，(4)熟悉生物處理程序的控制技術。凡此種種均需先瞭解生物的基本原理，然後才能充分發揮廢水生物處理程序的功效。

(一)微生物與養分

生物界分為三界，即動物界、植物界與原生界。所謂微生物乃指三界中的生物，其形體甚小，非用顯微鏡不能觀察其構造者，代表性微生物列如表 1。

微生物需要足量的養分以供(1)合成細胞質，(2)能量來源，(3)電子接受者，並促進新陳代謝作用的延續。一般微生物所需的養分可歸納如表 2。

微生物細胞體若以所含的元素區分約有如下的組成：碳50%、氧20%、氮10~15%、氫8~10%、磷1~3%、硫0.5~1.5%。若以化合物組成區分則包括：核酸、蛋白質、醣類（即碳水化合物）與脂類。

微生物一方面吸收養分，一方面進行生長與繁殖，微生物按所需碳源的不同可分為：(1)自營微生物，乃利用無機碳（即 CO_2 或 HCO_3^- ）為碳源而組合成細胞分子，(2)異營微生物，利用複雜的還原態有機物（如葡萄糖）為碳源。若依所需能量來源則可分為：(1)光合性微生物，利用陽光作為能量來源，(2)化學性微生物，由於化學反應釋出的熱能作為能量來源。此外，微生物若按其所需電子接受者可區分為好氧微生物（aerobes）乃以水中分子氧為電子接受者，厭氧微生物（anaerobes）乃以其他分子如有機物、硫酸鹽、硝酸鹽或二氧化碳中的氧作為電子接受者；如果微生物在不同環境下可利用分子氧或其他化合物作為電子接

* 國立中興大學環境工程學系教授

本小組委員

表1 三界中的微生物

界	別	代 表 性 微 生 物
動	物 界	輪 蟲 類 甲 殼 類
植	物 界	苔 蘚 類 蕨 類 種 子 植 物
原 生 物 界	原 核 原 生 物	細 菌 藍 綠 藻
	真 核 原 生 物	真 菌 類 (微菌與酵母菌) 藻 類 原 生 動 物

表2 微生物所需的養分

功 能	來 源
能 量 來 源	有 機 物 無 機 物 陽 光
電 子 接 受 者	O ₂ 有 機 物 含 氧 無 機 物 (如 NO ₃ ⁻ 、NO ₂ ⁻ 、SO ₄ ²⁻)
碳 源	CO ₂ , HCO ₃ ⁻ 有 機 物
以及其他微量元素與維生素等	

受者，即稱為兼性微生物 (facultative microbes)。在廢水生物處理系統中，常見的微生物大部份屬於兼性微生物，而處理有機性廢水的生物處理系統，則有賴異營微生物利用有機碳供為能量來源與細胞合成的碳源，以達到去除廢水中所含有的機物的主要目的。

(二) 酵素 (酶)

微生物的生存不僅需要食物，同時一切生化反應的進行均需要特定的酵素參與作用，所謂酵素，實是一種有機催化劑，按其催化反應而分為三類，即水解反應酵素、氧化還原反應酵素、與合成反應酵素。水解反應酵素主要乃使非溶性的複雜有機物加以水解分化為較簡單的溶性物質，以易於通過細胞膜而進入細胞體內，故此種水解反應酵素屬於細胞外酵素。氧化還原反應酵素則屬細胞內酵素，因其於細胞體內促進有機物質的氧化而產生能量，供為微生物生長與維生所需，譬如去氫酵素之作用乃自有有機物中擄走氫原子，直到遇合氫接受者而趨穩定。所謂氫接受者，在好氧性反應中，分子氧作為氫接受者後形成水，在厭氧性反應中，則以氧化態的化合物為氫接受者，最後形成還原態的化合物，如 CH_4 與 H_2S 。細胞物質的合成作用需要合成反應酵素，亦屬細胞內酵素，合成反應不僅依合成的生成物而需要特定的酵素，同時合成反應過程需要大量的能源，此能源主要來自生物氧化反應所釋出。

酵素的活性受環境因子的影響很大，環境因子包括溫度、pH 值、以及某些特殊離子如 PO_4^{3-} 、 Mg^{2+} 、或 Ca^{2+} 。因此在廢水生物處理系統的設計與操作時，必須考慮環境因子的可能影響，促使酵素發揮最大的活性，俾獲得有利的生物活動，增進廢水處理效果。

(三) 微生物代謝作用

微生物的代謝作用包括兩大反應，即異化作用與同化作用。異化作用的結果釋出能源而以磷酸鹽的能鍵存在於 ATP (adenosine triphosphate) 中，同化作用屬合成反應過程，即加大化合物的結構與複雜性，故需要能源，主要來自 ATP 的能鍵分裂所供給。上述的能量轉換關係可示意如圖 1。

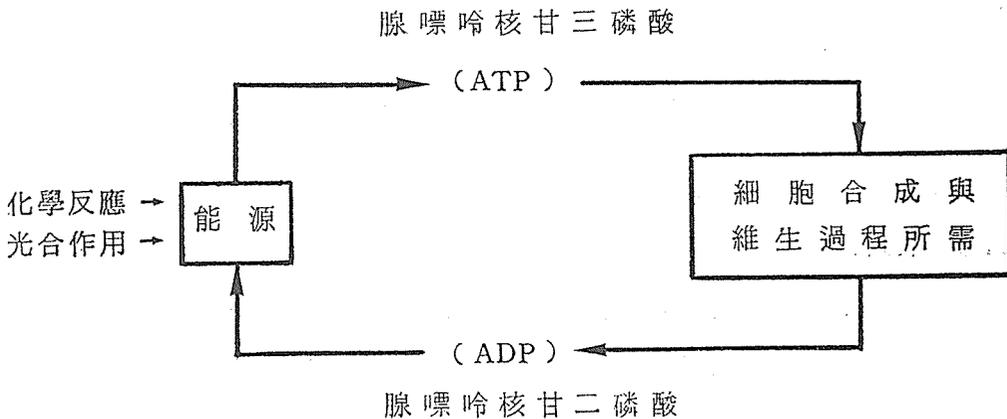
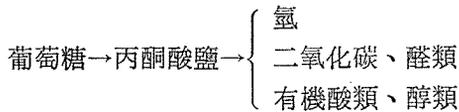


圖 1 細胞內能量轉換關係

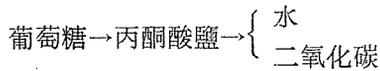
微生物的代謝過程由於所需碳源與能源的不同，可組合成下列不同方式進行：

1. 異營微生物 (指利用同一有機物質為碳源與能源)

(1) 醱酵 (無外來電子接受者)



(2)好氧呼吸作用 (氧為電子接受者)



(3)厭氧呼吸作用 (以無機物為電子接受者)



2. 自營微生物

(1)化學性自營微生物，以無機碳為碳源，以無機物氧化作用的釋能為能源，常以氧為電子接受者，如表 3 所示。

表 3 化學性自營微生物的反應過程

微 生 物	電 子 施 放 者	生 成 物
硝 化 細 菌	$\text{NH}_3 \rightarrow$	NO_2^-
	$\text{NO}_2^- \rightarrow$	NO_3^-
硫 細 菌	$\text{H}_2\text{S} \rightarrow$	S
	$\text{S} \rightarrow$	SO_4^{2-}
氫 細 菌	$\text{H}_2 \rightarrow$	H_2O
鐵 細 菌	$\text{Fe}^{2+} \rightarrow$	Fe^{3+}

(2)光合性自營微生物，以藻類為主，利用游離二氧化碳為碳源，以陽光做為能源，同時將二氧化碳與水合成新的細胞物質 (即碳水化合物)。

好氧微生物與厭氧微生物的代謝過程分別示如圖 2。

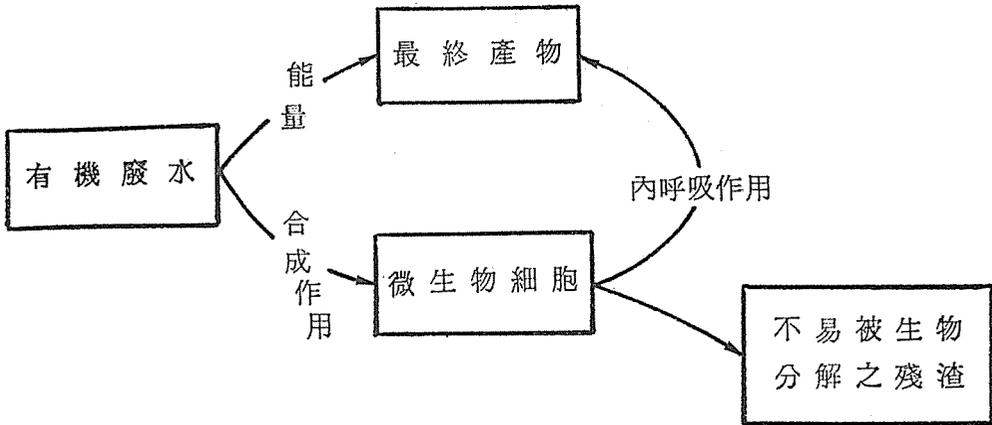
四)環境影響因子

微生物的生長過程受其所處環境因子的影響極大，為了發揮廢水生物處理系統的最大功效，實有賴各項環境條件因子的適當控制，今將較重要的環境因子分述如下。

1. 溫度

生化反應的速率當然受溫度直接影響，意即微生物的生長速率亦受溫度的影響。一般而言，各類系統的生物均有一最佳生長的溫度範圍，以細菌為例，依溫度高低而分為三類，(1)低溫細菌，生長範圍 $2 \sim 30^\circ\text{C}$ ，最佳溫度為 $12 \sim 18^\circ\text{C}$ 。(2)中溫細菌，生長範圍 $20 \sim 45^\circ\text{C}$ ，最佳溫度為 $25 \sim 40^\circ\text{C}$ 。(3)高溫細菌，生長範圍 $45 \sim 75^\circ\text{C}$ ，最佳溫度為 $55 \sim 65^\circ\text{C}$ 。在此等範圍之外，各類細菌的生長速率均將受到抑制而減低或趨於死亡，一般應用於廢水處理的生物多屬於中溫細菌。

(1)好氧微生物



(2)厭氧微生物

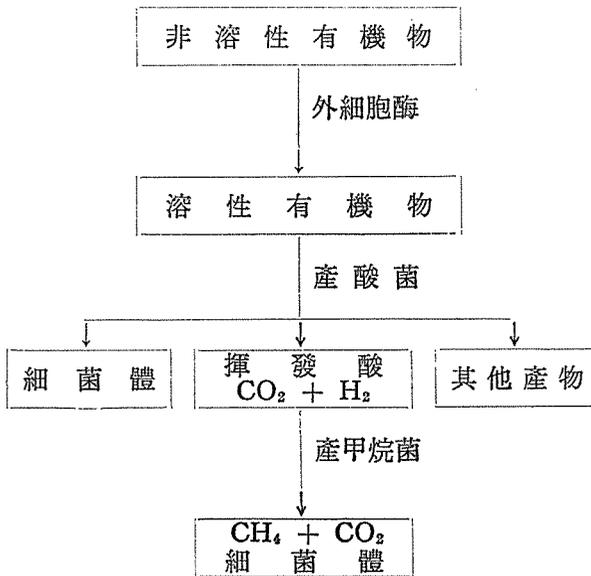


圖 2 微生物代謝過程

2. pH 值

廢水生物處理系統一般最佳 pH 範圍介於 6.5 與 7.5 之間，但有時因系統不同而相差甚大。操作經驗顯示，以細菌為主的系統於略鹼性時生長較佳，以藻類與真菌為主的系統則於略酸性時生長較佳。pH 值的變化主要影響到酵素的活性度，因而使得微生物的生長過程受到影響。

3. 毒性物質

廢水生物處理系統受各類物質的毒性影響可分為三大類，(1)某些有機物於高濃度時對微生物生長構成毒害而低濃度時則不然，譬如酚類即為最常見的例子。(2)大部分的重金屬均對生物處理系統有害，但如果能將微生物先加以適當的馴養，則其蒙受重金屬的毒害性將大為減低。重金屬對生物處理系統的毒性作用相當複雜，除了與重金屬濃度、pH 值、與微生物的生理狀態有關外，其他廢水中共存的物質亦將影響重金屬的毒害程度，譬如廢水中含有氨時，因氨能與銅相結合成錯離子，故使銅的毒害性相對的減低。(3)高濃度的鹽分將影響微生物的活性度，而降低生物處理的效果。譬如於pH值為7時，氨濃度一般不可大於1600mg/L

表 4 廢水生物處理基本程序

型 式	名 稱	用 途
1.好氧系統		
(1)懸浮生長式	活性污泥系統	去除含碳 BOD、硝化作用
	懸浮生長式硝化反應槽	硝化作用
	曝氣式氧化池	去除含碳 BOD
	高率好氧性藻類塘	去除含碳BOD
	好氧消化槽	穩定作用、去除含碳 BOD
(2)附着生長式	滴濾池	去除含碳 BOD、硝化作用
	旋轉生物圓盤	去除含碳 BOD、硝化作用
	填充塔式反應槽	硝化作用
(3)混合式	滴濾池+活性污泥系統	去除含碳 BOD、硝化作用
	活性污泥系統+滴濾池	去除含碳 BOD、硝化作用
2.無氧系統		
(1)懸浮生長式	懸浮生長式脫氮反應槽	脫氮作用
(2)附着生長式	固定膜脫氮反應槽	脫氮作用
3.厭氧系統		
(1)懸浮生長式	厭氧接觸系統	去除含碳 BOD
	厭氧消化槽	穩定作用、去除含碳 BOD
(2)附着生長式	厭氧濾床	去除含碳 BOD、穩定作用、 脫氮作用
	厭氧污水塘	去除含碳 BOD、穩定作用
4.好氧與無氧或好氧與厭氧系統		
(1)懸浮生長式	單段式硝化與脫氮反應槽	去除含碳 BOD、硝化作用、脫 氮作用
(2)附着生長式	硝化與脫氮反應槽	硝化作用、脫氮作用
(3)混合式	兼性污水塘	去除含碳 BOD
	腐熟塘	去除含碳 BOD、硝化作用
	厭氧與兼性混合池	去除含碳 BOD
	厭氧、兼性與好氧混合池	去除含碳 BOD

，而氯化物的濃度則不可大於16000mg/L。此外，太高的鹽分濃度（常以總溶性固體表示）將使生物污泥之膠凝效果降低而不利於沉降。

4. 養分

前已提及微生物生長需要多種養分，其中氮與磷在許多種工業廢水中常缺乏，故必須另外適量地補充之。其他微量元素如硫、鉀、鈣、鎂等，也可能影響微生物的正常合成作用，使得處理效果不盡理想。

5. 其他因子

工業廢水中的有機物有些可為生物所分解者，有些則否，其中生物可分解之程度與速率亦與有機物之化性有關。不同的生物處理方法、管理、操作與維護均為生物處理效果的重要影響因子。

(四) 廢水生物處理程序

廢水生物處理的方法依廢水特性、去除物質、及所欲處理的程度而有不同的選擇，主要處理目的包括：(1)去除含碳有機物，(2)硝化作用，(3)脫氮作用，(4)穩定作用。常用的廢水生物處理程序，依好氧系統、厭氧系統、與無氧系統，以及懸浮生長式系統與附着生長式系統等分別列於表4。

二、懸浮生長式生物處理法

(一) 活性污泥系統

活性污泥為異營性的混合微生物羣，由細菌、原生動物、輪蟲、與真菌所構成，對廢水中有機物的穩定作用主要來自細菌，而原生動物與輪蟲則有清除分散性的細菌之作用。細菌在好氧環境下利用有機基質，首先由於有機基質在細胞壁上接觸，而後質傳輸入細胞內，再由細胞的代謝作用加以利用，使生成最後產物二氧化碳與水逸出細胞外，有機基質為溶性者，可立即質傳輸入細胞內，若為膠體狀或較大顆粒狀，則需先經由細胞外的酵素作用令其水解分化後才能被細胞所利用。為了獲得澄清的處理水，微生物於去除有機物之後，仍需再加以分離，即利用二級沉澱池將固液分離，此時由於生物膠凝作用，使細小微生物結合成較大膠羽而加速沉降。經過分離的微生物羣（即活性污泥）部分迴流至曝氣池供繼續去除有機物，部分則需加以適當處置。今將常用的不同型式活性污泥系統介紹於下：

1. 傳統式活性污泥系統

早期活性污泥系統的曝氣池都建造成長長的型式，使水流路徑較接近栓塞流(plug flow)的形式，廢水與迴流污泥自池之前端進入，經6~8小時的停留曝氣後，進入二級沉澱池以沉降污泥，迴流污泥量約為進水量的25~50%，可獲得相當良好的處理水質（參見圖3）。曝氣池主要採用壓縮空氣式的曝氣設備，空氣擴散器在池底平均分佈，即沿著池長的傳氧能力保持固定。在操作上，由於迴流污泥與進流廢水在池的前端進入，故前端的需氧量甚大，常常超出平均的傳氧能力，而池的後段，因廢水已較淨化，需氧量降低，此處又用固定的傳氧能力則太浪費。此外，當濃度突增的廢水進入時，因僅在池前端進入，其對系統的衝擊

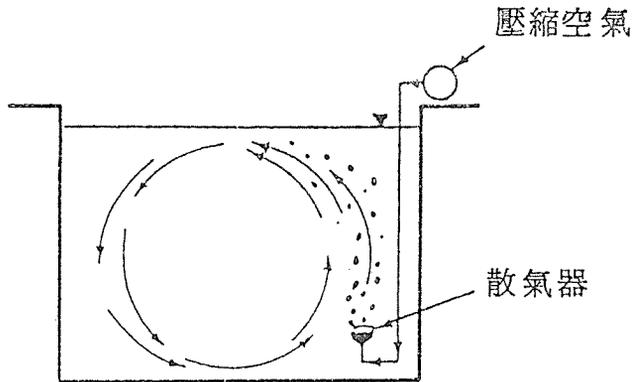
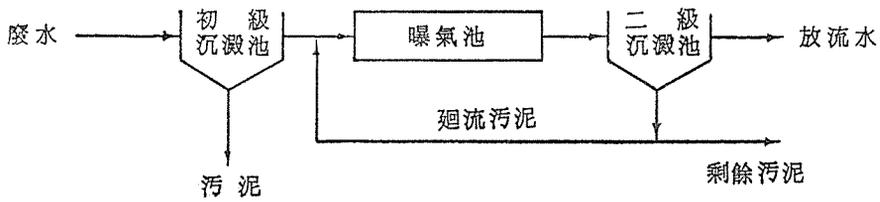


圖3 傳統式活性污泥系統

甚大，使得系統無法操作穩定。

2. 漸減曝氣式活性污泥系統

爲了改善前述傳統式活性污泥系統曝氣池內固定傳氧能力的缺點，乃將曝氣池內擴散器的排列加以調整，在池的前段，曝氣器排列間隔較緊密，而池後段其間隔則愈稀疏，因此前段供應較多的氧，沿池長則傳氧能力漸減，如此可節省供氧的動力消耗。

3. 階梯曝氣式活性污泥系統

由於傳統式活性污泥系統的廢水全部在曝氣池的前端進入，一者池內需氧量分佈不均勻，再者對廢水突增濃度的忍受力較低，因此乃將廢水的進流位置加以改善如圖4所示，廢水分段注入曝氣池內，而迴流污泥僅由前端注入，如此使得池內各段的有機負荷較均勻，需氧量各段約相等，同時，如果第一段不注入原廢水，可僅供迴流污泥曝氣之用，使得該系統的

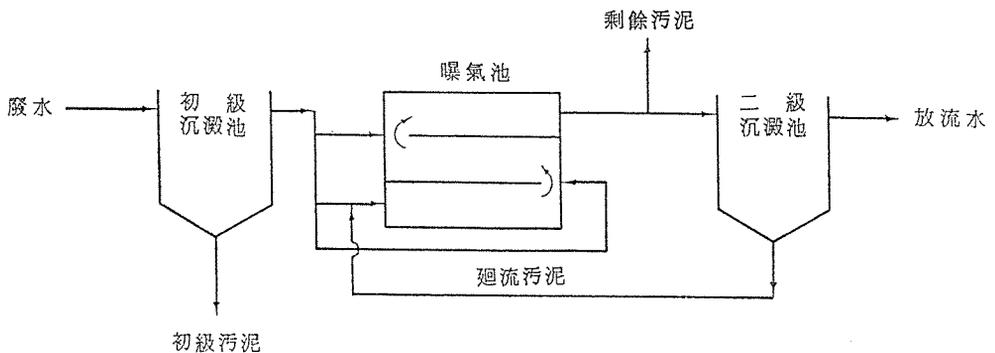


圖4 階梯曝氣式活性污泥系統

操作極具彈性。一般而言，階梯曝氣式較上二者需要較小的曝氣池體積。

4.高率活性污泥系統

該系統與傳統式活性污泥系統同一流程，僅於曝氣池內維持較低的污泥濃度，相對地提高曝氣池的有機負荷，水力停留時間約為 1.5~3 小時，於此情況，污泥有較高的增殖速率與基質利用速率，亦即去除單位基質所需的氧量比傳統式活性污泥系統為低。一般而言，高率活性污泥系統的 BOD 去除率約為60~75%，主要乃因污泥的沉降性不佳，故於二級沉澱池後的處理水仍含多量的懸浮固體，因此於處理水質的要求較高之情況下，不適採用高率活性污泥系統。

5.全混型活性污泥系統

為使曝氣池內的廢水與生物污泥達到完全混合，可利用壓縮空氣式或機械曝氣式的設備，配合池型的適當佈置，使池內的有機基質濃度與需氧量維持相當均勻，而當突增廢水濃度或有機負荷進入曝氣池時，亦可獲得立即的緩衝調和效果而減低其對曝氣池的衝擊。常用的全混型活性污泥系統的兩種流程如圖 5 所示，一者採用壓縮空氣式曝氣，另一採用機械式曝氣。在有些情況下，此種全混型活性污泥系統無需設置初級沉澱池，如圖 5 中的機械曝氣式即是。

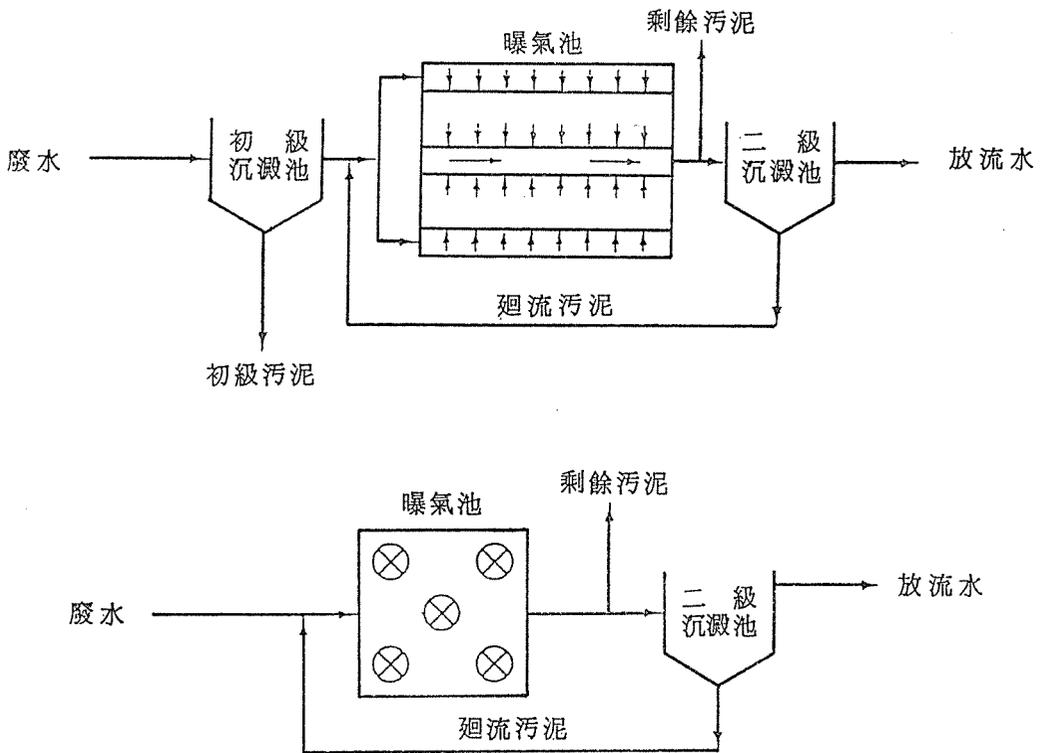


圖 5 全混型活性污泥系統

6.延長曝氣式活性污泥系統

該系統為了達到完全混合，一般僅適用於較小流量的廢水處理，其流程與圖 5 中的機械

曝氣式全混型活性污泥系統相同，但常無剩餘污泥排出設備。延長曝氣式活性污泥系統乃利用微生物生長過程中的內呼吸增殖期的特性，以較長的停留曝氣時間，使曝氣池內維持較高的生物污泥濃度。理論上而言，有機基質的去除全部氧化成爲能量而消失，故無需處置剩餘的活性污泥，但實際操作上，因惰性物質在池內不斷累積，故需定期排出污泥。此系統常遭遇的操作困難爲生物污泥甚難凝聚，使得處理水不易澄清，此外因去除有機基質全被氧化，故去除單位基質的需氧量較高，即總消耗能量（動力）亦較高。

7. 接觸穩定式活性污泥系統

當廢水與活性污泥接觸後，發生兩個現象，首先有機基質經由吸着作用而附於生物污泥表面，此現象約於20~40分鐘內完成，第二個現象即爲氧化反應，有機基質被生物水解、氧化而穩定。前述幾種活性污泥系統乃將此兩種現象於同一個反應槽內完成，至於接觸穩定式活性污泥系統乃將此兩種現象分別於二個反應槽內完成，其流程如圖6所示。廢水常未經初級沉澱池即與迴流污泥在接觸池內停留曝氣約30~90分鐘，以完成生物吸着作用，混合液再經二級沉澱池分離活性污泥後，將活性污泥送入穩定池停留曝氣3~6小時，此時吸着於生物污泥的有機基質即被氧化而釋出能量，並合成新細胞物質，部分二級沉澱池迴流污泥則排出另行處置，穩定後的活性污泥再迴流與廢水混合進入接觸池中，週而復始。接觸穩定式所需曝氣池容積約僅爲傳統式活性污泥系統之半，因此常用於改善傳統式活性污泥系統之超負荷時，其法乃將原曝氣池加以適當分隔，即可承受較原設計爲高的有機負荷。由於工業廢水中的有機基質常爲溶性，故與以含膠體狀與顆粒狀有機基質爲主的家庭污水處理不同，無法普遍採用接觸穩定式活性污泥系統。

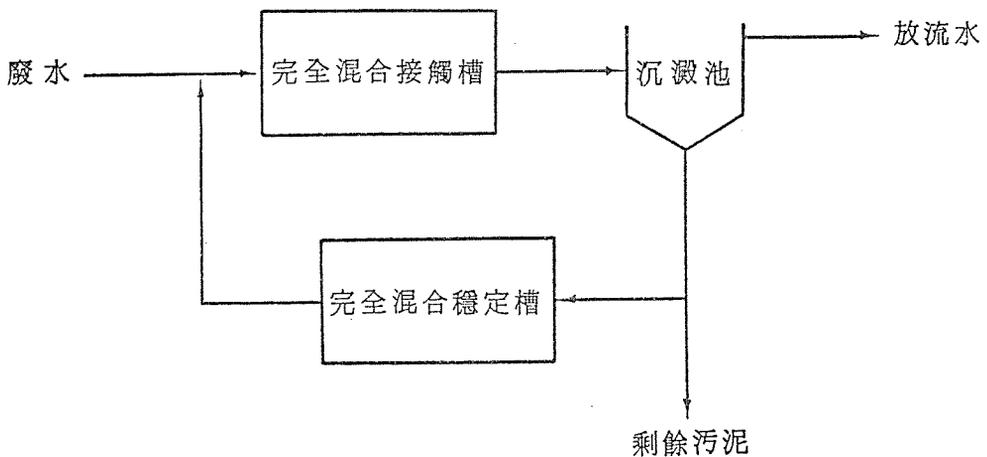


圖6 接觸穩定式活性污泥系統

8. 污泥再曝氣式活性污泥系統

當既有的活性污泥系統中，曝氣池容量不足或曝氣設備不夠應付有機負荷增加所需的傳氧能力時，可考慮採用污泥再曝氣方式加以改善，其流程如圖7所示，將沉降後的迴流污泥先於污泥再曝氣池內停留曝氣，一者使含氧量提高，再者使部分未穩定的有機基質進一步被去除，如此可提高原曝氣池的處理能力。在實用上，亦可考慮將污泥厭氧消化後的上澄液，一併收集於污泥再曝氣池內，以免直接進入曝氣池時造成突增負荷之衝擊。

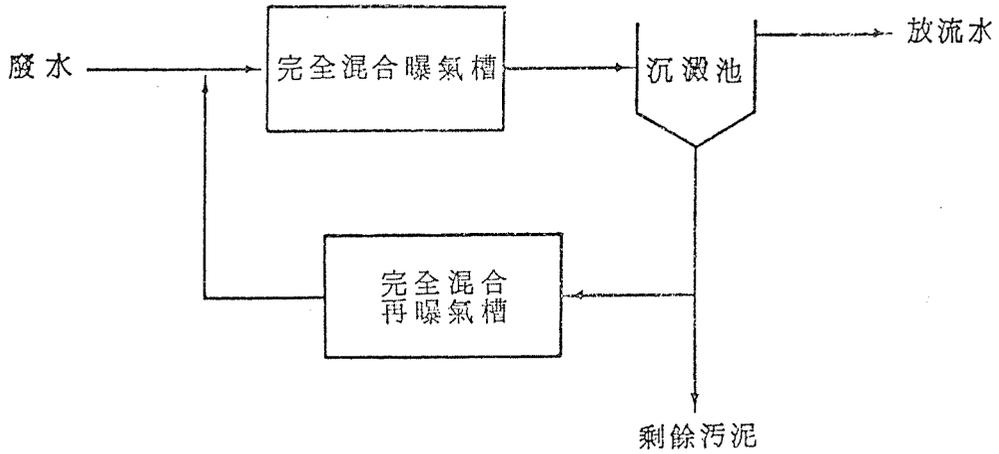


圖 7 污泥再曝氣式活性污泥系統

9. 氧化渠法

氧化渠法實為延長曝氣式活性污泥系統之一種，早期供為處理較小廢水流量之用，其流程如圖 8 所示，池深約 1~1.5 公尺，採用輪刷式機械曝氣設備，一者供氧，一者推動水流程

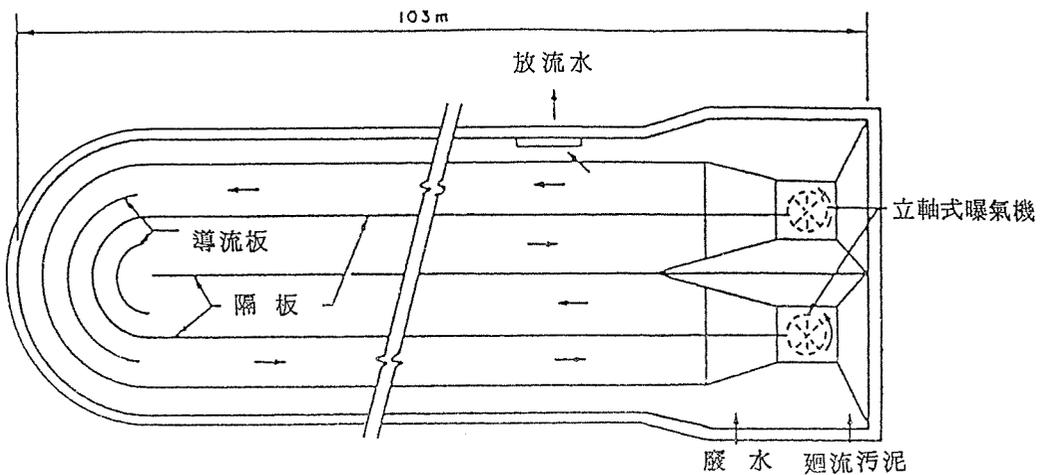
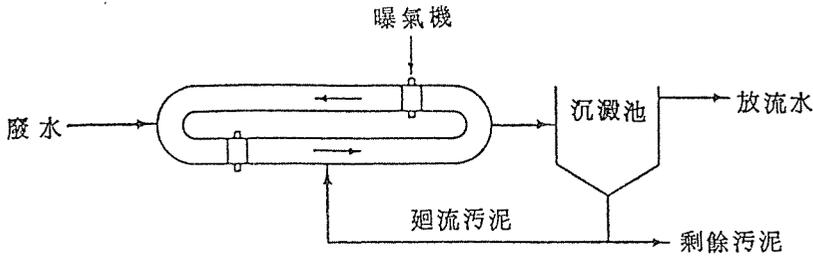


圖 8 氧化渠法活性污泥系統

，處理水經二級沉澱池後，可得相當澄清的水質，其特點為佔地較大，操作簡便，受進流負荷變化的影響較小。目前由於表面曝氣機的開發，在較高的傳氧能力之下，可將渠深加大，而成氧化深渠法，並減少佔地面積，此法一般無需初級沉澱池，剩餘活性污泥亦無需經常排出。

10. 純氧曝氣式活性污泥系統

由於純氧製造設備的開發，以及對於高濃度有機性廢水與硝化作用處理的要求，使得近年來純氧曝氣式在活性污泥系統中逐漸被採用。當曝氣池的溶氧濃度提高時，不僅可承受較高的進流有機負荷，同時在池內活性污泥濃度增高的情況下，使得剩餘生物污泥的產量相對地減低，約僅為空氣曝氣式活性污泥系統生物污泥產量的60%，純氧曝氣式活性污泥系統示如圖9，一般採用時，可考慮用於：(1) 土地使用受限制時，(2) 進流有機負荷變化極大時，(3) 廢水濃度甚高時。

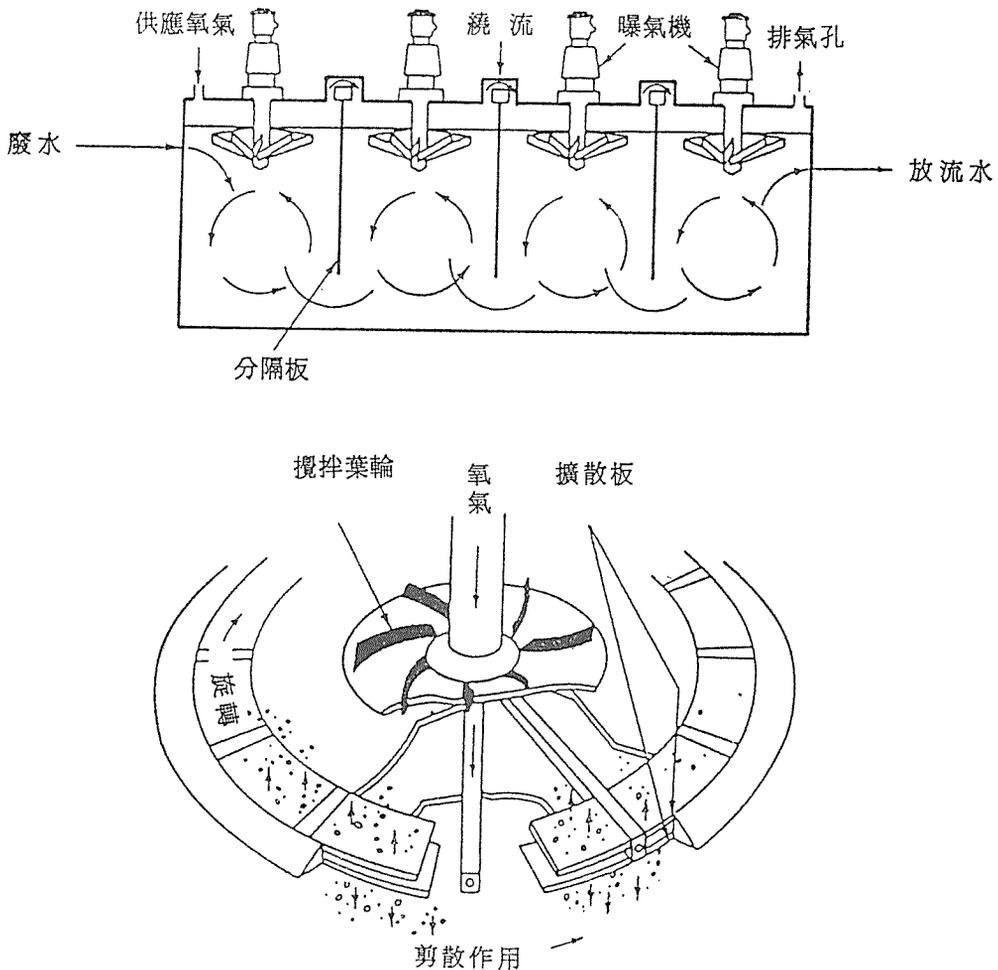


圖9 純氧曝氣式活性污泥系統

(二) 廢水穩定池

廢水穩定池在小規模的廢水處理系統上已有很久的歷史，在使用名稱上相當混淆，此處僅依其所含溶氧的狀態而分別討論如下。

1. 好氧污水池

池深很淺（約一公尺以內），使得陽光足以貫穿至池底，以促進池內藻類進行光合作用，廢水中有機基質的穩定乃由好氧細菌所完成，而好氧細菌的需氧量一者來自藻類光合作用所釋出，一者由於池淺受風力作用後池面的再曝氣作用而供給。藻類與細菌於污水池中相互依存，藻類將二氧化碳與水利用陽光為能源合成新細胞物質，其光合作用所釋出的氧則供異營細菌進行代謝作用，使廢水中有機基質氧化而形成二氧化碳與水，再供藻類增殖所需，其反應過程示如圖10。

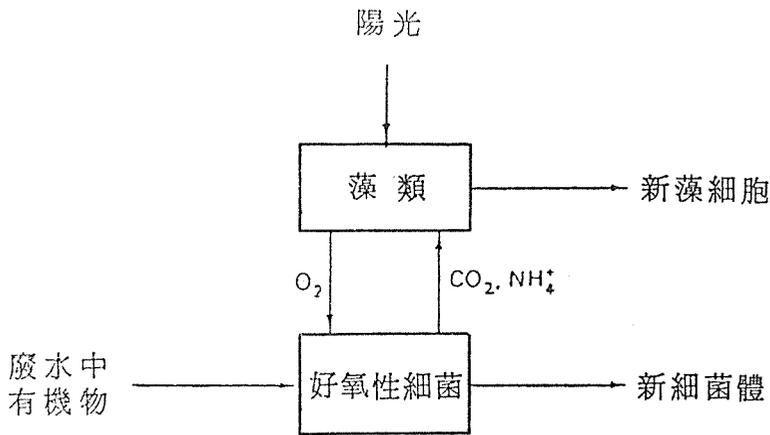


圖10 好氧污水池微生物之代謝關係

2. 兼性污水池

對於小型社區的廢水處理系統，若不受土地使用的限制，兼性污水池不失為可行的方法。兼性污水池的特性有：(1)停留時間甚長，故較不受進水濃度與流量突增的立即影響，(2)建造成本與操作維護費均甚低廉，(3)處理水質有時無法達到日益嚴格的放流水質標準的要求。兼性污水池內依生物的反應過程可分為三大部分，池面與上層屬好氧生物區，中間一層為兼性生物區，底層則屬厭氧生物區，如圖11所示。好氧生物區內的溶氧主要來自氣液接觸面的傳輸與光合作用的結果，而兼性生物區在白天則近乎好氧狀態，在夜晚則為厭氧狀態。廢水進入兼性污水池後，廢水中可沉降性固體物即沉入池底而進行厭氧分解釋出二氧化碳與甲烷，此氣體穿過好氧生物區時，二氧化碳被進行光合作用之微生物所利用，部分甲烷被氧化，其他則逸入大氣中。廢水中所含的溶性有機基質，則於好氧生物區直接被異營微生物氧化而穩定。

3. 厭氧污水池

當污水池承受過量的有機負荷時，使得原為好氧狀態的污水池將轉變成為厭氧污水池。一般而言，厭氧污水池較深，故陽光無法貫穿至池底，使得藻類的繁殖相當有限。廢水中的

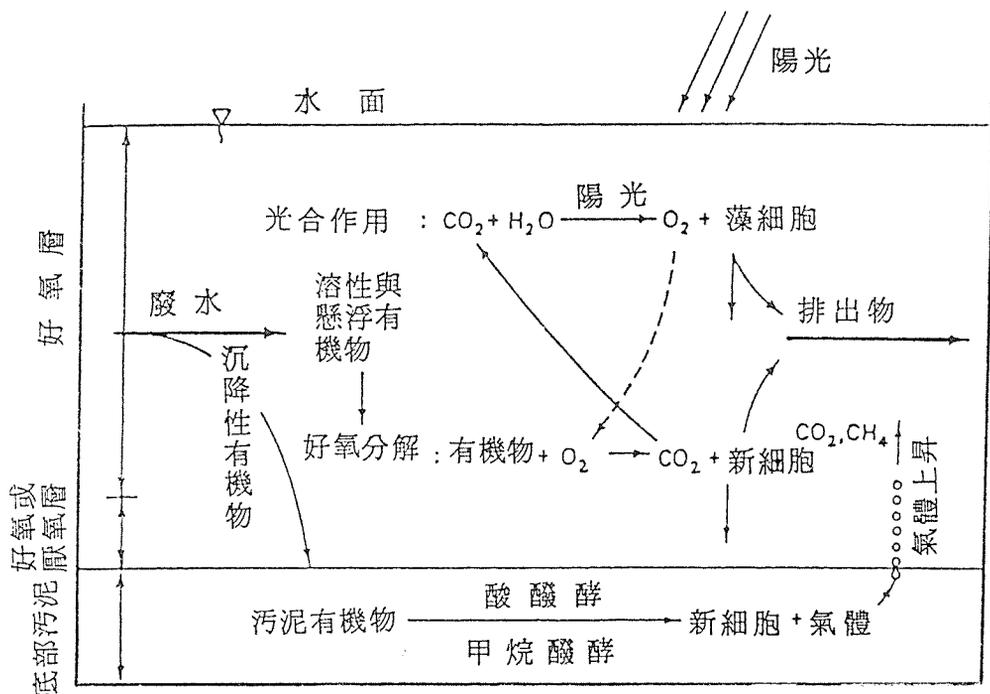


圖11 兼性污水池微生物之代謝關係

有機基質在厭氧污水池中進行兩階段的反應，先是酸醱酵過程，使複雜的有機基質分化成為有機酸與醇類，第二階段為甲烷醱酵，將前階段產物轉化為甲烷與二氧化碳氣體。一般而言，厭氧污水池僅可用於前處理之用或處理高溫高有機濃度的廢水，若供前處理之用時，其後常再接兼性污水池或好氧污水池。厭氧污水池在操作上最大的難題乃是產生臭味的問題。

4. 曝氣式氧化池

利用機械式或壓縮空氣式的曝氣設備，可增加污水池內的溶氧濃度，且可使廢水中的沉降性固體物成懸浮狀，不致使池底發生厭氧狀態，故無臭味問題。在設計上常採較大池深，承受比好氧污水池為高的進流有機負荷。曝氣式氧化池由於懸浮固體物存在與攪拌動力的影響，使得藻類幾乎不能繁殖。因此在不受土地使用限制的地區，曝氣式氧化池常被用於處理含分解速率較低的有機基質的工業廢水，並以採用表面曝氣機為主。

(三) 厭氧接觸系統

利用兼性與厭氧微生物處理有機性廢水，已如前述分為兩個階段，第一階段時複雜的有機物，如脂肪、蛋白質、多醣類等，先經由異營微生物的水解作用分化成較小的單元，接着由酸醱酵作用而產生較簡單的有機物，如有機酸與醇類，此時有少量產酸菌增殖。第二階段時，乃由極端厭氧的微生物，將第一階段生成物轉化成甲烷與二氧化碳氣體，此時有機基質方達到完全穩定，在廢水處理上的應用流程如圖12所示。近來，有將前述二個生化反應階段分別操作，以提高厭氧微生物分解有機物的速率，稱為二相厭氧反應系統，其處理流程如

圖13所示。

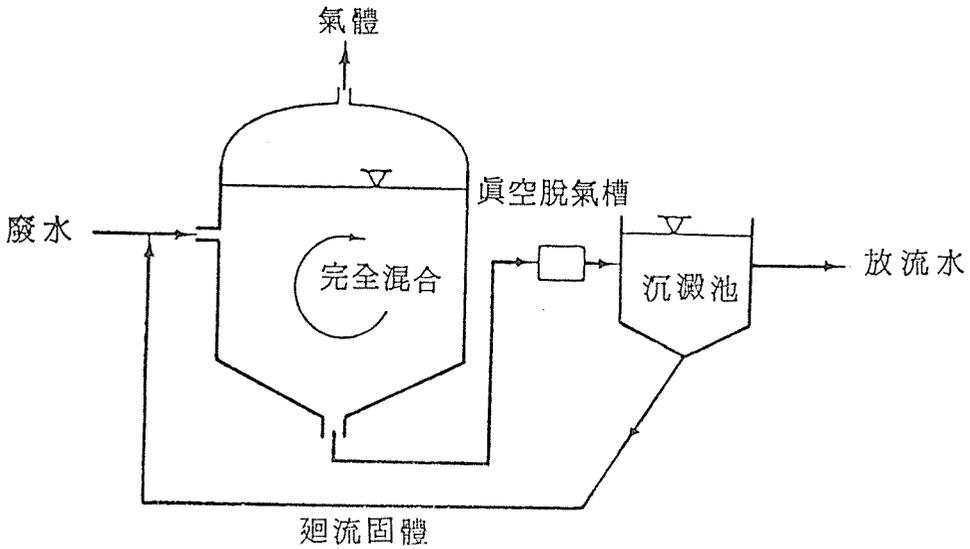


圖12 厭氧接觸系統流程

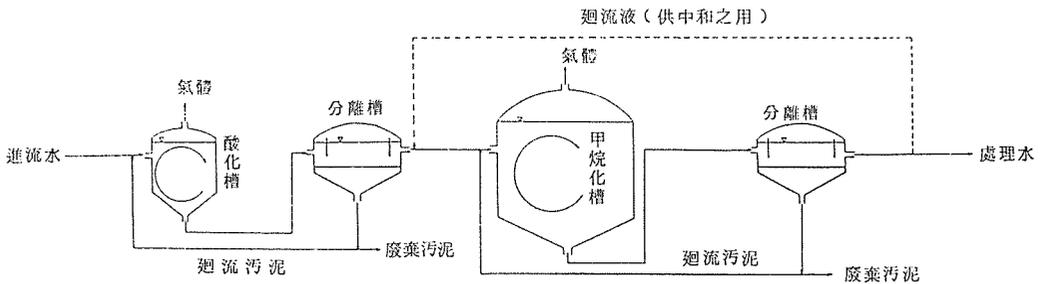


圖13 二相厭氧反應系統流程

三、附著生長式生物處理法

利用生物膜附着於特殊的濾料或介質上，當廢水與生物膜接觸時，有機基質即被去除或氧化而穩定。今將常用的附著生長式生物處理法說明如下：

(一)滴濾池

滴濾池常被誤解為利用過濾原理以去除廢水中的有機基質，其原理乃是利用質量擴散與微生物的分化作用而去除有機基質。如圖14所示，水流以層流經過濾料表面，濾料表面上附有生物膜，由於氧的穿透深度受到限制，使得生物膜外層呈好氧性，而內層則顯厭氧性，當廢水中有機基質濃度增加時，將使好氧性厚度減小，而當水流速率增加時，則使好氧性厚度加大。有機基質在被去除前含於廢水中，經由質量傳送而穿透入生物膜內，其穿透深度則隨

廢水濃度與流率的增加而增加。生物膜利用有機基質增殖，使得生物膜厚度逐漸增加，同時在鄰近濾料面的生物因不易獲得食物源（有機基質），而進行自生分解作用，使得其在濾料面上的黏着力減低，再因水流的剪力作用，因而使生物膜剝落。所謂滴濾池乃將適當的濾料置於塔式反應槽內，將廢水均勻地自槽頂灑入，使其在濾料面上成一水膜流過，由於前述的微生物代謝作用而去除廢水中的有機基質。常用的濾料（或介質）有碎石與合成濾料兩種，後者如塑膠濾料或陶瓷濾料均有。由濾池流出的水再經二級沉澱分離污泥，即得澄清的處理水質。滴濾池常用的迴流方式有兩種，一為直接將濾池流出水迴流，一為將沉降的澄清液迴流，通常以直接迴流較佳。

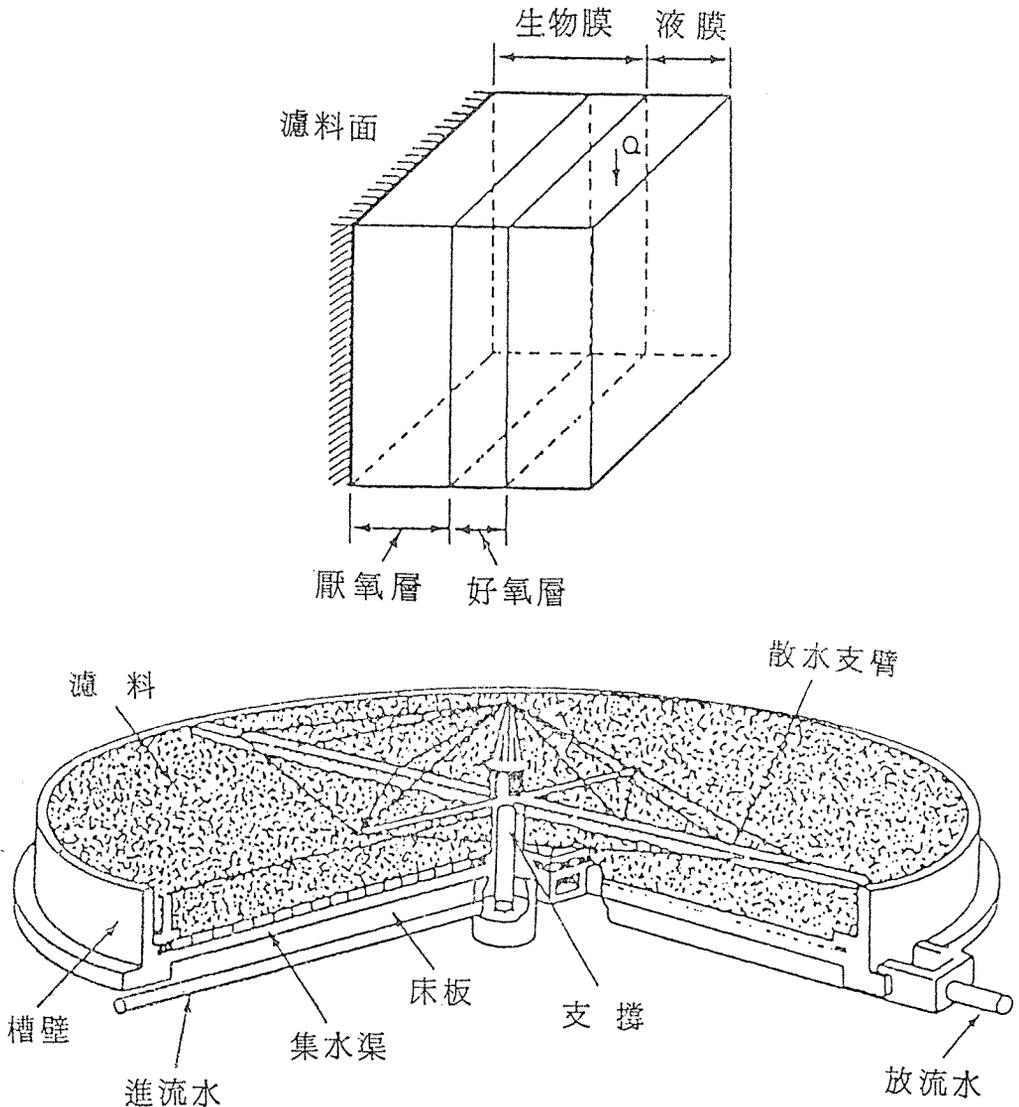


圖14 滴 濾 池

(二) 旋轉生物圓盤

將合成材料製成的圓盤以同等間隔而固定於一轉軸上，整套轉盤再架於反應槽內，圓盤浸水深約40%，旋轉速約1~2 rpm，當含有機基質的廢水流過反應槽，經過某時間的轉動，圓盤開始附着生物膜，厚約2~4 mm，此生物膜當圓盤仍在水面上與空氣接觸時自空中獲得傳氧，當進入反應槽後，圓盤生物膜與水中有機基質接觸而利用之。生物膜逐漸增長之後，則不斷地被水力作用刮入槽內，而不久新的生物膜又在圓盤上剝落處形成。反應槽的混合液經二級沉澱池分離污泥，即得澄清的處理水質。旋轉生物圓盤處理廢水的特性有：(1)接觸時間少於一小時；(2)無需污泥迴流設備；(3)操作簡便；(4)維護費頗高。

(三) 厭氧濾床

一般而言，厭氧生物處理法較好氧生物處理法有如下兩特點：(1)產生有價值的氣體，如甲烷；(2)較低的生物污泥淨產量。厭氧濾床與滴濾池很相似，不同點在厭氧濾床以向上流式為主，即自濾床底部進流，而由頂部出流，濾床內的常用濾料亦包括碎石與合成材料二種，於正常操作條件下，濾料表面的生物膜並不經常脫落，同時濾床內可常見懸浮生長式生物膠羽存在，如果向上流速太低，很易造成濾床堵塞現象。懸浮生長式的厭氧接觸系統較適用於處理高濃度的有機廢水，然而附着生長式的厭氧濾床則曾處理高低濃度不同的廢水而均獲得滿意的結果。

四、混合式生物處理法

利用懸浮生長式與附着生長式不同生物處理法的特性加以組合成混合式生物處理法，常用的有活性污泥法與滴濾池的串聯應用，以及最近發展出的活性生物濾床，前者屬於多段式處理，後者則可單獨使用，今將後者加以說明如下：

活性生物濾床的流程示如圖15，經初級沉澱池的廢水與迴流污泥混合後，以抽水機揚升

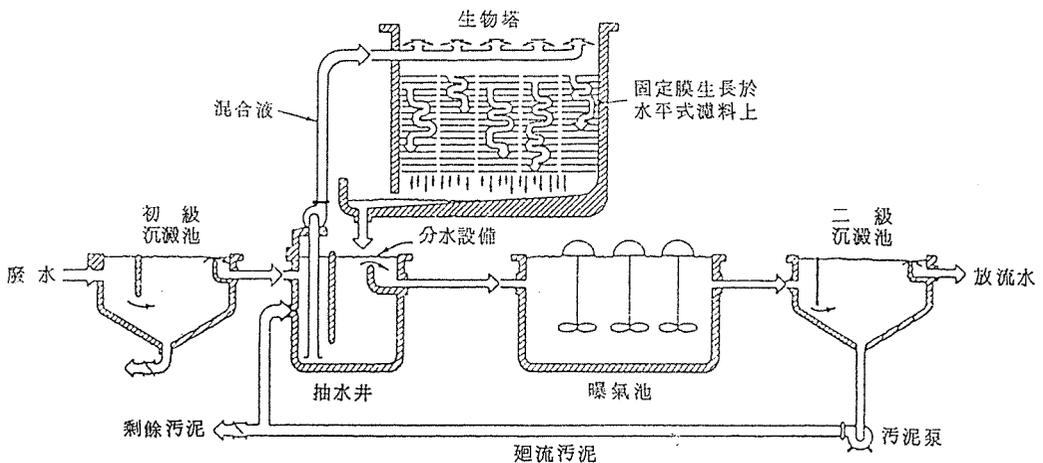


圖15 活性生物濾床流程圖

至一內置濾料的生物反應塔，由於濾料間隔甚大，故傳氧效果良好，不易堵塞，廢水流過濾料表面時與濾料上的生物膜接觸，此時與滴濾池有相同的有機基質去除功能。自生物反應塔流下的混合液大部分進入曝氣池，少部分再流回抽水井與廢水及迴流污泥混合。有機基質在生物反應塔內約去除60%，經過曝氣池短時間的停留曝氣，約可再去除30%的有機基質，若再經二級沉澱池分離污泥，則可得甚佳的處理水質。

五、工業廢水處理之應用

生物處理為目前廢水二級處理時最普遍採用的方法，其主要目的為將廢水中的膠體狀及溶解性有機物，經由微生物的代謝作用變為穩定，並去除部分懸浮固體物。而所謂初級處理，乃為去除廢水中的漂浮或可沉降的污染物，如固體、油脂、浮渣等，預先處理則為了調理廢水，使其更適於後段的處理，而高級處理（或稱三級處理），則為更進一步去除留存於廢水中的懸浮固體、氮、磷、惰性有機物、及溶解性無機物。

二級處理除了採用生物方法外，亦可採用化學處理法而達到相同的效果，其利弊比較如表5所示，在實用上，必須考慮工業廢水本身的特性加以比較分析，以選擇最經濟有效的處理方法。就生物處理方法而言，又可分為好氧性生物處理與厭氧性生物處理，其主要差異如表6所示，若考慮微生物生長的方式，則可分為懸浮生長式與附着生長式，其主要特性比較如表7所示。一般而言，厭氧生物處理系統的優點為：(1)產生具有能源價值的甲烷氣，(2)生物污泥生成量低，(3)需要較少營養劑，(4)無需供應氧氣，(5)處理費用較低。厭氧生物處理系統的缺點有：(1)系統操作不易穩定，(2)甲烷生成菌生長速率緩慢，(3)處理水質常無法達到放流要求，(4)以往操作經驗仍相當缺乏。

表5 化學與生物方法處理工業廢水之比較

項 目	化學處理	生物處理
出水穩定性	好	稍差
污 泥	較難處置	較易
操作控制	易	難
操作費用	高	低
腐蝕性、刺激性	大	小
藥品貯存	必需	無需
處理所需時間	快	慢
前處理之需要	不一定	必須
負荷之變化	易適應	不易

工業廢水中具有 BOD 濃度時，均可考慮採用生物處理，國內近五千家工廠依其類別統計結果，BOD 污染性較高的工廠類別依序為：味精、植物油、造紙、澱粉、罐頭食品、飼料、水產加工、冷凍肉類、乳品工業、紡織、玉米粉、染整、化學工業、皮革、醬類、糖菓

表 6 好氧與厭氧分解之主要差異

項 目	好氧分解	厭氧分解
合成作用	快	慢
生成物能量	低	高
生質量(污泥)產生	高	低
主要最終產物	CO ₂	CH ₄

表 7 懸浮生長與附着生長生物處理系統之比較

懸 浮 生 長 式	附 着 生 長 式
(1)微生物利用混合與曝氣懸浮在反應槽內。	(1)微生物附着在介質表面而形成生物膜。
(2)對進流水中毒性物質相當敏感。	(2)對進流水中毒性物質較能忍受。
(3)微生物利用基質不受質傳的限制。	(3)基質利用率受質傳的影響。
(4)二級沉澱池的操作影響反應槽內污泥的濃度。	(4)反應槽操作不受二級沉澱池操作效果的影響。
(5)二級沉澱池控制處理水中懸浮固體濃度。	(5)有時可不用二級沉澱池。
(6)工程設計原理已較完備。	(6)工程設計原理有待繼續研究。

餅乾麵食工業、汽水等。圖16表示高濃度與低濃度有機性廢水常用的處理方法，由於處理廢水所產生的大量污泥，其處理與處置方法亦分別示於圖中。生物處理方法有如前述相當多的種類，如何針對工業廢水的特性（水質與水量的變化）選擇經濟可行而且有效的處理，其主要原則包括：(1)最後的排放方法，(2)廢水性質，(3)操作技術，(4)處理廠位置，(5)可利用的水頭（位能），(6)建設費用及操作費用，(7)擴充及維修難易，(8)處理效果，(9)污泥處理與處置，(10)物料來源及設備壽命，(11)可用面積及地形、地面與地下情況等。

(一)活性污泥法

此法為目前採用最廣的生物處理法，在有機性工業廢水的應用已有甚多的操作經驗，對廢水中生物可分解有機物的去除效果極為良好，與設計或操作有關的系統因子示如表 8，表內並比較活性污泥法的各種改良及修正方法。

(二)滴濾池

採用塑膠濾料的滴濾池，曾用於處理有機性工業廢水，而獲得良好的處理效果，一般而言，滴濾池的操作特性示如表 9，表10為工業廢水處理的應用結果。

(三)旋轉生物圓盤

此法在發展時程上位於滴濾池之後，目前卻比滴濾池更受歡迎，其主要操作特性示如表 11，有機性工業廢水以旋轉生物圓盤處理的結果示如表12。

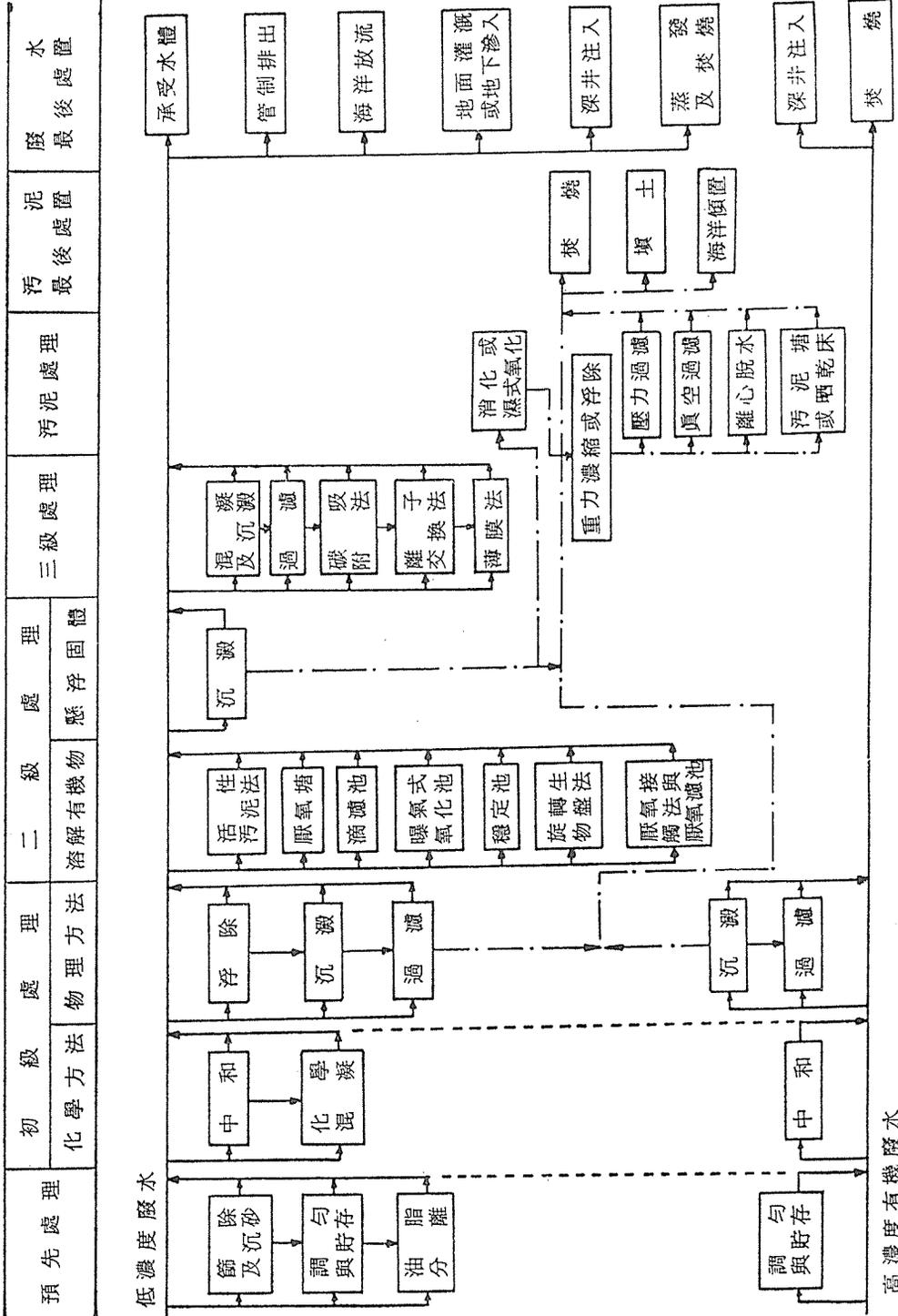


圖16 工業廢水處理基本流程

表 8 活性污泥法之設計與操作因子

活性污泥法	曝氣方式	BOD 去除率 (%)	污泥齡 (d)	F/M 比值 (kgBOD/kg MLVSS.d)	容積負荷 (kg BOD / m ³ .d)	混合液懸浮固體 (mg/L)	水力停留時間 (h)	污泥迴流比 (R/Q)
(1)傳統式	壓縮空氣或機械式	85-95	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1,500-3,000	4-8	0.25-0.5
(2)漸減曝氣式	壓縮空氣式	85-95	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1,500-3,000	4-8	0.25-0.5
(3)階梯曝氣式	壓縮空氣式	85-95	5-15	0.2-0.4	0.6-1.0	2,000-3,500	3-5	0.25-0.75
(4)高率式	機械式	75-90	5-10	0.4-1.5	1.6-6.4	4,000-10,000	0.5-2	1.0-5.0
(5)全混型	壓縮空氣或機械式	85-95	5-15	0.2-0.6	0.8-2.0	3,000-6,000	3-5	0.25-1.0
(6)延長曝氣式	壓縮空氣或機械式	75-95	20-30	0.05-0.15	0.1-0.4	3,000-6,000	18-36	0.75-1.0
(7)接觸穩定式	壓縮空氣或機械式	80-90	5-15	0.2-0.6	1.0-1.2	1,000-3,000 (接觸池) 4,000-10,000 (穩定池)	0.5-1.0 (接觸池) 3-6 (穩定池)	0.25-1.0
(8)污泥再曝氣式	壓縮空氣式	85-95	5-15	0.3-0.8	0.6-1.6	2,000-3,000	4-8	0.5-1.0
(9)純氧曝氣式	純氧機械延散式	85-95	8-20	0.25-1.0	1.6-3.3	6,000-8,000	1-3	0.25-0.5

表9 滴濾池操作特性比較

優點	缺點
(1)操作維護相當簡易，適於小流量廢水處理。	(1)無法控制微生物膜的生長狀況，尤其環境條件變化時，操作較難。
(2)對進流水有機物濃度變化的忍受能力較強。	(2)污水蠅與臭味問題較難解決。
(3)污泥沉降性良好，易於沉澱分離。	
(4)對進流水中毒性物質的忍受能力相當高。	

表10 塑膠濾料滴濾池處理工業廢水操作結果

廢水來源	水力負荷 (m ³ /m ² .d)	進流水 BOD (mg/L)	處理水 BOD (mg/L)	去除率 (%)
啤酒廢水	35.1	1,150	320	72
	35.1	320	150	53
釀造廢水	35.1	1,000	312	69
	35.1	312	67	79
	35.1	67	<20	>70
馬鈴薯加工廢水	35.1	500	260	48
石化工業廢水	112	300	37	88
紙業廢水	43.9	400	96	76
	87.8	400	168	58
合成化纖廢水	35.4	4,150*	994*	76
	35.4	994*	341*	66
	35.4	341*	182*	47
染整廢水	58.8	134	14	90
	58.8	154	29	81
	117	124	34	73

* COD 濃度

表11 旋轉生物圓盤操作特性比較

優點	缺點
(1)轉盤與廢水直接接觸，無需迴流廢水以增加潤濕效果。	(1)進流水質變化時無法對應操作控制。
(2)控制轉速可調整生物膜的厚度。	(2)處理容量的緩衝能力有限。
(3)傳氧速率可由圓盤轉速控制。	(3)由於傳氧速率的限制，無法處理較高的負荷。
(4)污泥無需迴流。	
(5)消耗動力低。	
(6)對進流水中毒性物質忍受能力強。	

表12 旋轉生物圓盤處理工業廢水操作結果

廢水來源	水力負荷 ($m^3/m^2 \cdot d$)	BOD 負荷 ($kg/m^2 \cdot d$)	進流水 BOD (mg/L)	處理水 BOD (mg/L)	去除率 (%)
煉油廢水	0.0978	0.0174	178	34	81
	0.276	0.0130	47	32	32
乳酪加工廢水	0.00886	0.00941	1,062	42	96
葡萄釀造廢水	0.0285	0.0171	600	24	96
乳業廢水	—	—	2,270	227	90
麵包廢水	—	—	2,000	<300	>85

四)接觸曝氣法

此法乃是將曝氣槽內的接觸材料浸於水中，並在槽內給予充分曝氣，使進流廢水充分攪拌循環流動，並與接觸材料相接觸，而逐漸形成生物膜，利用該生物膜在好氧狀態下淨化水質，以達到廢水處理的目的。本法為介於活性污泥法與滴濾池之中間型的處理方式，其主要優點有：

- (1)由於係利用附着於接觸材料表面之生物膜，因其接觸槽單位容量表面積（比表面積）較大，可保持更多量的生物膜。
- (2)由於附着之微生物污泥齡長，生物相多而呈安定化狀態，同時亦可促進微生物之自生氧化作用，故污泥產生量少。
- (3)對於流量負荷或有機物負荷的變化，具有較高的緩衝能力。

本法之缺點為：

- (1)附着之生物膜量不易調節。
- (2)在高 BOD 負荷或高 SS 負荷下操作，由於生物膜的增殖快速，會造成濾料（接觸材料）堵塞。

本法應用於處理有機性工業廢水的結果如表13所示。

表13 接觸曝氣法處理工業廢水操作結果

廢水來源	流量 (m^3/d)	BOD 負荷 ($kg/m^2 \cdot d$)*	進流水 BOD (mg/L)	處理水 BOD (mg/L)	去除率 (%)
絹製系副產廢水	60	0.0106	800	20	98
纖維精煉廢水	1,000	0.015	210	31	85
染色及家庭污水	683	0.0053	90	35	62
複寫紙製造及家庭污水	30	0.0018	90	2	98
醬油釀造廢水	20	0.0017	230	<5	98
乳業廢水	66	0.0016	33	5	75

* 以蜂巢管表面積表示，蜂巢管比表面積介於 $180-240m^2/m^3$ 。

(五)厭氧接觸系統

高濃度有機性廢水無法直接採用好氧生物處理法處理時，可先行厭氧生物處理，若仍無法達到處理要求，可再以好氧生物處理法處理之，表14為厭氧接觸系統處理工業廢水的結果。

表14 厭氧接觸系統處理工業廢水操作結果

廢水來源	進流水濃度 (mg/L)	有機負荷 (kg/m ³ .d)	水溫 (°C)	去除率 (%)
玉米澱粉廢水	6,300(BOD)	1.76	23	88
釀酒廢水	25,000(BOD)	4.01	33	95
蘭酒釀造廢水	65,000(COD)	3.84	36	79
	65,000(COD)	11.5	36	72
糖蜜釀造廢水	30,000(BOD)	3.04	37	96
葡萄釀造廢水	22,000(COD)	3.20	33	97
	23,400(VSS)	11.7	33	85
蘋果釀造廢水	13,740(COD)	1.38	35	73
啤酒廢水	3,900(BOD)	2.03	—	96
糖蜜廢水	32,800(VSS)	8.75	33	69
酵母廢水	11,900(VSS)	5.93	33	65
澱粉麵筋廢水	14,000(VSS)	1.60	35	80
柑橘廢水	4,600(BOD)	3.43	33	87
製梨廢水	60,000(COD)	4.33	35	91
肉品包裝廢水	2,000(BOD)	1.76	33	95
	1,380(BOD)	2.50	33	91
罐頭食品廢水	20,000(COD)	3	36-38	95
乳品廢水	3,000(COD)	1-2.5	35	55-70
甜菜製糖廢水	4,700(COD)	12-24	35-37	86-89
豆類去菁廢水	20,000(COD)	6.6	35	80
馬鈴薯剝皮廢水	38,400(COD)	2.4	35	70

(六)厭氧濾床

此法屬於附着生長式生物處理法，其操作較厭氧接觸系統（懸浮生長式）為簡易，常用於處理高濃度有機性工業廢水，表15為廢水特性與操作結果。

(七)厭氧污泥床

此法近年來在歐洲發展，大多用於處理高濃度工業廢水，圖17為在荷蘭用於處理馬鈴薯加工廢水的流程。所謂厭氧污泥床為一上流式反應槽，由於廢水上流使得污泥膠羽在槽內漂浮，屬於懸浮生長式生物處理系統，在廢水濃度高又不加曝氣的情況下，槽內呈厭氧狀態，

表15 厭氧濾床處理有機性廢水操作結果

廢水來源	進流水 COD (mg/L)	反應槽溫度 (°C)	有機負荷 (kg/m ³ .d)	去除率 (%)
養豬廢液	10,000-60,000	30	5-19.6	69-93
製漿濃縮黑液	1,400	37	1-5	40-90
垃圾場滲出水	5,000-62,000	—	0.5-1.5	>90
	21,000	35-39	0.9-1.5	96
合成澱粉廢水	8,700	35	2.5-10	79-93
製藥廢水	16,000	37	0.4-3.5	94-98
貝類加工廢水	400-500	—	0.1-1.3	40-80
樹膠廢水	400-12,000	35	2.5-11	50-67
都市污水	200	—	0.1	60
	200	—	0.18	75
煉焦廢水	1,500-2,300	35(?)	7	63
合成酒精廢水	3,000-6,000	30	4-16	50-90
含酚廢水	600-1,200	35	<2	90
消化污泥上澄液	10,000-12,000	35	2.5-9	50-70

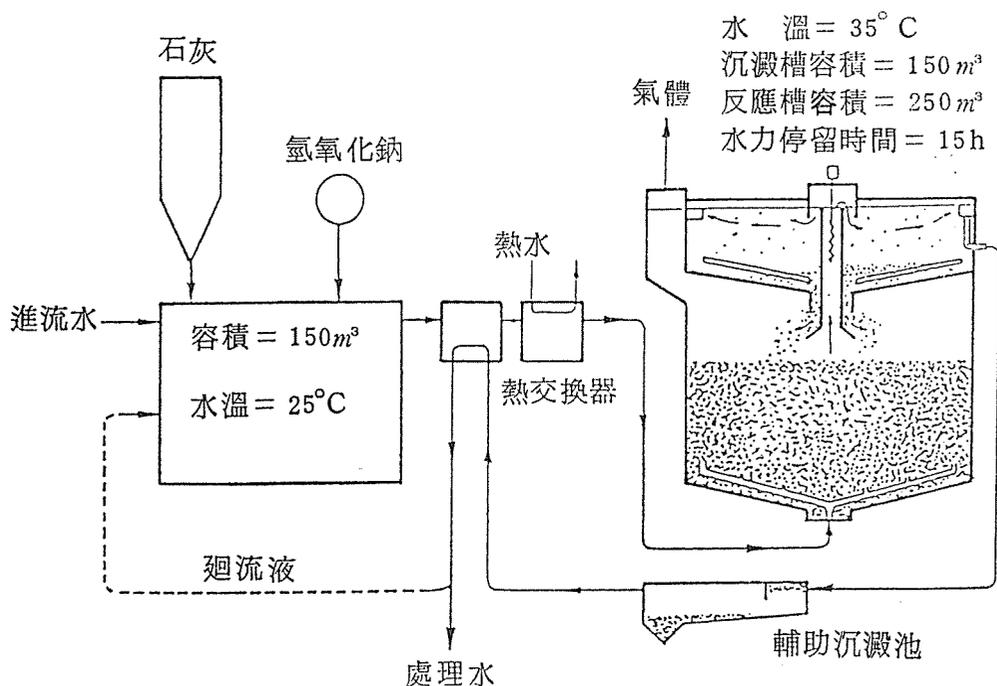


圖17 厭氧污泥床處理馬鈴薯加工廢水流程

反應槽的頂部為沉降設備，使得污泥不致溢流排出反應槽而逐漸增高槽內污泥濃度，為了增進厭氧反應處理效果，進流廢水必須先加溫後再進入反應槽。表16為厭氧污泥床用於工業廢水處理的結果。

表16 厭氧污泥床處理有機性廢水操作結果

廢水來源	進流水 (mg/L)		反應槽溫度 (°C)	有機負荷 (kg/m ³ .d)	去除率 (%)
	COD	懸浮固體			
豆類去青廢水	5,200	520	30	8-10	90-95
	10,000	1,000-3,000	25	10-15	88-94
			35	20-30	88-94
屠宰場廢水	1,500-2,200	750-1,100	20	6	91
			30	10	87
都市污水	200-900	<300	8-20	0.7-2.7	50-85
甜菜製糖廢水	1,000-2,600	—	30	10	79.3
泡菜廢水	10,000-20,000	<600	30	8-9	88-93
合成澱粉廢水	8,700	—	35	2.5-10	68-87
化學品製造廢水	14,000	0	35	12-30	73-82
馬鈴薯廢水	2,000-5,000	—	19	3-5	95
			26	10-15	95
			30	15-18	95
消化污泥上澄液	11,000	500	35	0-7	76
釀造廢水	10,000	—	35	10.7-16.9	45-65

(八) 厭氧流體化床

此法為一高效率的有機性廢水生物處理法，乃在一反應槽內置入顆粒介質（常用砂或活性碳），將廢水自槽底部送入逆流而上，因水流使得介質浮動於反應槽內，生物膜逐漸在介質表面形成附着，其處理流程如圖18所示，主要用於處理高濃度有機性工業廢水。此法亦可採用好氧環境操作，即在廢水進入反應槽前先注入純氧，使反應槽呈好氧狀態，但目前已漸少採用。一般而言，生物流體化床具有下列優點：

- (1) 活性污泥濃度很高，可以縮短生物反應時間。
- (2) 可以減少反應槽體積及用地面積，大量節省初期投資費用。
- (3) 由於具有很高之活性污泥濃度，對於突增負荷或溫度改變所產生之影響較少。
- (4) 對於已達超負荷之廢水處理廠，其處理容量的擴充很方便。
- (5) 生物流體化床沒有滴濾池法的水頭損失。

其主要缺點有：

- (1) 需要一相當均勻的水流分散設備。
- (2) 技術經驗較缺乏，設計建造均較困難。
- (3) 操作管理需要較高的技術。

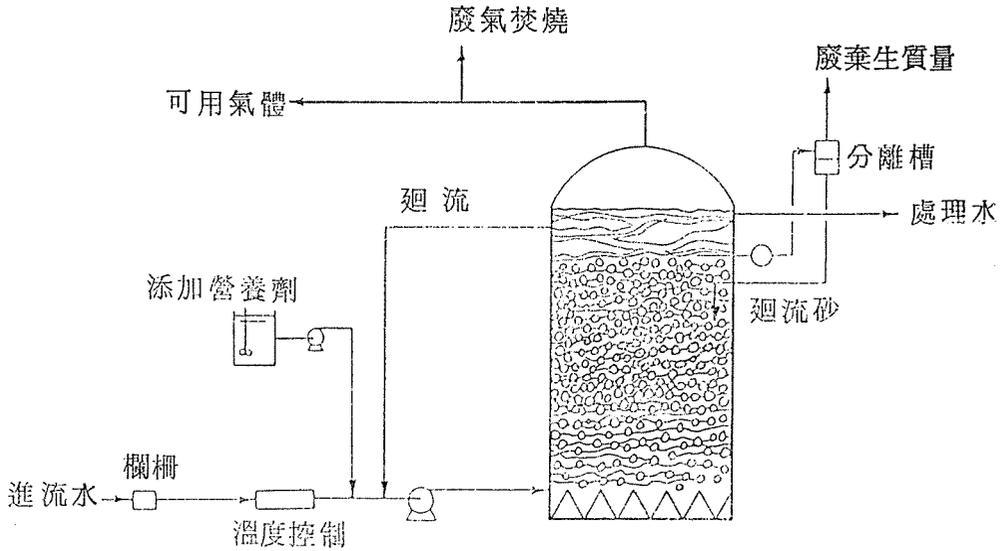


圖18 厭氧流體化床處理流程

(4)迴流率大，動力需求較高。

(5)停車時生物會略受損害，需一段時間才能恢復。

而針對厭氧流體化床則有如下優點，故在工業廢水處理的應用上似值得加以推廣：

1. 厭氧流體化床可以產生甲烷，回收能源，其他的好氧生物處理法則需消耗能源。
2. 厭氧流體化床產生相當低的生物固體量，故減少污泥處理與處理的問題。
3. 厭氧流體化床由於單位體積的生物量相當高，和厭氧接觸系統相比的結果，在較短的水力停留時間就有相當好的去除效率。
4. 厭氧流體化床不會有厭氧濾床過量污泥堵塞濾料孔隙，而增加水頭損失的問題。
5. 對中濃度廢水的處理，厭氧流體化床在稍短於活性污泥法的水力停留時間之情況下，就有傳統活性污泥法的去除效果，甚至更好。
6. 體積負荷高，約為厭氧濾床的10倍。在相同的處理量下，反應槽的體積僅為厭氧濾床的1/10，節省用地和空間。
7. 可處理高濃度有機性廢水，不須預先稀釋。

表17為厭氧流體化床處理有機性工業廢水的結果。

六、結 語

一般而言，利用生物方法處理工業廢水，僅能減少廢水中可被生物分解的部份有機物，不論採用厭氧或好氧生物處理系統，進流水水質直接影響處理效果，尤其廢水中重金屬濃度一直是廣受重視的水質因子，表18所列雖指活性污泥系統的限制濃度，由於厭氧系統或附着生長式（生物膜）處理系統有關資料較少，故此表一般可通用於各生物處理系統。如果工業廢水不在廠內直接加以處理，而是經由公共下水道系統或工業區聯合污水處理廠加以處理，

表17 厭氧流體化床處理工業廢水操作結果

廢水來源	水力停留時間 (h)	有機負荷 (kg/m ³ .d)	水溫 (°C)	pH 值	進流水 (mg/L)		處理水 (mg/L)		去除率 (%)	
					有機濃度	懸浮固體	有機濃度	懸浮固體	有機濃度	懸浮固體
黃豆加工廢水	11.8	9.8(BOD)	36	6.7-7.0	4,835	296	534	278	89	6
	20.2	7.8(BOD)	36	6.7-7.0	6,556	438	1,131	417	83	5
乳漿廢水	23.3	9.6(COD)	30~35	6.7-7.2	9,374	844	1,141	358	88	58
	16.6	16.2(COD)	30~35	6.7-7.2	13,159	1,193	1,954	416	85	65
	14.5	19.3(COD)	30~35	6.7-7.2	12,297	2,481	2,015	309	84	88
	43.6	19.7(COD)	30~35	6.7-7.2	35,408	2,601	8,356	2,295	76	12
二相式	20.9	10.6(COD)	30~35	5.7-6.2 (酸化槽) 6.7-7.2 (甲烷化槽)	9,490	352	579	218	94	38

表18 活性污泥系統之重金屬容許濃度

重金屬	導致危害之濃度 (mg/L)	
	連續負荷	瞬間負荷
鎳	1	10
鉻	2	2
銅	1	1.5
鐵	35	100
鉛	1	—
錳	1	—
汞	0.002	0.5
鎳	1	5
銀	0.03	0.25
鋅	1-5	25
鈷	>1	—
氰化物	1	1-10
砷	0.7	—

則各工廠的廢水必須考慮預先或初級處理，在達到下水道系統規定的排入標準濃度之後，始可排入收集系統，以免直接妨害污水處理廠的操作。當然，考慮預先或初級處理時，不僅針對上述重金屬項目，其他諸如 pH 值、油脂、溫度、毒性物質等亦需妥加斟酌。

近年來，在考慮廢水處理程序時，能源消耗是一相當重要的因素，因此，厭氧生物處理系統有逐漸再被重視的趨勢，今將厭氧生物處理法的有機負荷與去除率比較如表19（食品加工廢水），供為參考。

表19 厭氧生物處理法之有機負荷與去除率

種類	COD 負荷 (kg/m ³ .d)	COD 去除率 (%)
厭氧接觸系統	1— 6	80—95
厭氧濾床(向上流)	1—10	80—95
(向下流)	5—15	75—88
厭氧污泥床	5—30	85—95
厭氧流體化床	1—20	80—87

註：操作溫度 35°C，最高 COD 濃度為 30,000mg/L。

回分式活性污泥處理糖精廢水之研究

——倍克公司糖蜜素廢水改善個案輔導報告

張 柏 成* 陳 宏 仁**

一、前 言

近年來，臺灣環境污染日益嚴重，經大眾傳播的鼓吹，使民衆的環境意識逐漸提高，進而關心自己生活環境的安全。

倍克公司新竹新豐廠以生產糖蜜素環己胺磺酸鈉或鈣鹽（cyclamate）爲主，所排出之廢水含高濃度之BOD及COD值，污染其周圍之環境，致使附近民衆羣起抗議，且強迫工廠停工，該廠因而向工業局申請輔導，而由張柏成博士主持研究共處理方法，由於該廠屬中小型工廠，加上其生產過程每日排出之廢水量不多，而回分式活性污泥法因具有：

1. 可將調勻池、曝氣池、沈澱池等三單元合而爲一，以節省用地及建設費。
2. 操作管理費便宜。
3. 維護管理容易。
4. 適用於中小型工廠水量不多之廢水。
5. 污泥不易鬆化。

等特點，頗適該廠使用，因而以回分式活性污泥法對該廠之廢水進行研究，探討以此法處理該廠廢水之可行性。

二、糖精廢水水質

倍克公司該廠生產糖蜜素（cyclamate）過程如下圖：

而在反應及分解階段，原料之一的環己胺（cyclohexylamine），因冷凝回餾不完全而逸出，加上反應產生之 $\text{NH}_3(\text{g})$ 落於水中形成廢水，其水質如表一所示

由於廢水中磷含量甚微，使污泥之營養不平衡，故須加入其他物質以補充，而爲節省藥品費，故以水肥作爲補充，經測定水肥中之磷含量在 $60\text{mg}/\ell$ 以上，經稀釋後使用仍能維持廢水中 $\text{C}:\text{P}=100:1$ ，故能以水肥作爲補充營養鹽之物質。而因廢水中含多量氮，故不虞缺乏。

* 逢甲大學環境科學系教授兼系主任

** 逢甲大學環境科學系學生

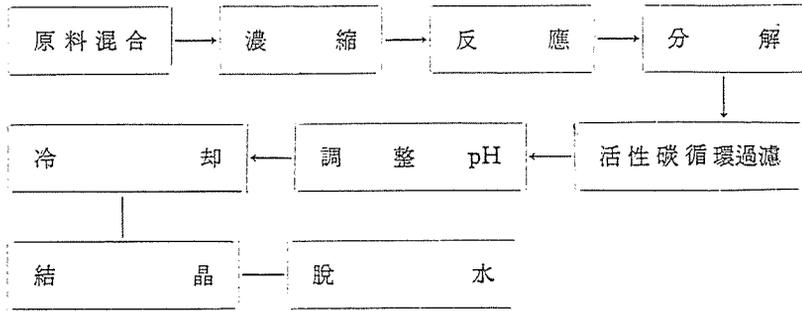


圖 1 糖精生產流程

表一 廢水水質

項 目	性 質
外 觀	清 澈 透 明
臭 味	嚴 重 氨 臭
pH	9 ~ 10
COD (mg/l)	1000~5000
BOD (mg/l)	950~4000
磷 P (mg/l)	0.001~0.01

三、實驗方法

(一)實驗階段及程序：

本實驗由水肥處理廠取回活性污泥，放入曝氣槽，以水肥加以馴養，並控制BOD容積負荷在 0.3~0.4kg BOD/m³·day，且在此條件下逐漸減少水肥量而增加廢水，即維持 (廢水BOD負荷)+(水肥BOD負荷)=0.3~0.4kg BOD/m³·day 而此時廢水所佔比例為：

$$\text{廢水比例 (\%)} = \frac{\text{廢水BOD}}{\text{總BOD}} \times 100\%$$

並經30%、60%、90%之比例逐漸增加，而至 100%之廢水直接加入，以探討水肥的添加量，而水肥的來源有：①水肥廠經厭氣消化之水肥，②化糞池水肥，以探討若直接使用工廠廁所廢水的可行性。

實驗分成兩梯次進行，其條件如下：

第一梯次：調整原廢水pH=7，混合水肥廠經厭氣消化之水肥處理。又分為

- 實驗 1：曝氣 8 小時，停止曝氣時間 16 小時。
- 實驗 2：23 小時曝氣，1 小時使污泥沈降並排水。

第二梯次：不調整原廢水 pH 值，混合化糞池水肥處理。又分為

- 實驗 1：曝氣 8 小時，停止曝氣時間 16 小時。
- 實驗 2：23 小時曝氣，1 小時使污泥沈降並排水。

(二)實驗操作：

每一梯次每月之操作流程如圖 2 及圖 3

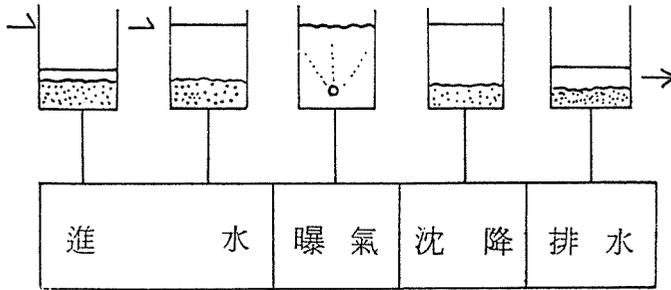


圖 2 同分式活性污泥法操作程序

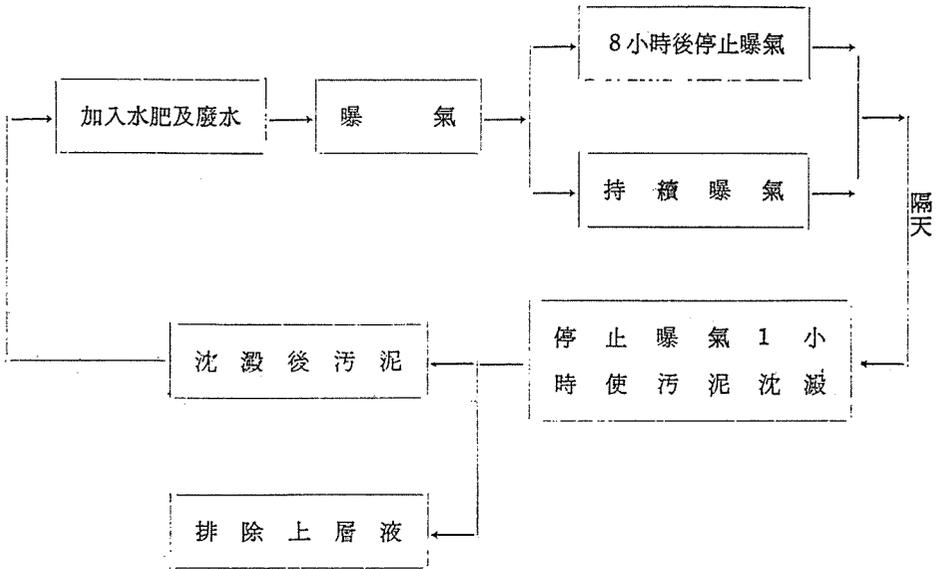


圖 3 每日操作流程

而活性污泥濃度 (MLSS) 控制於 2,500~3,000mg/l 之間，過剩污泥則予排除，其

SVI 為55~65之間，且因實驗進行期間值夏、秋季，室內溫度約 25~35°C 之間，對活性污泥之影響不大，故不加控制。

實驗期間，每日分析進、放流水之COD, BOD, DO, pH, MLSS, SVI，並記錄之，分析方法依 APHA 之 “Standard Method” 所載。

四、結果與討論

(一) COD 去除之比較

第一梯次中實驗 1 及實驗 2 之進、放流水 COD 值及其去除率如圖 4、圖 5。

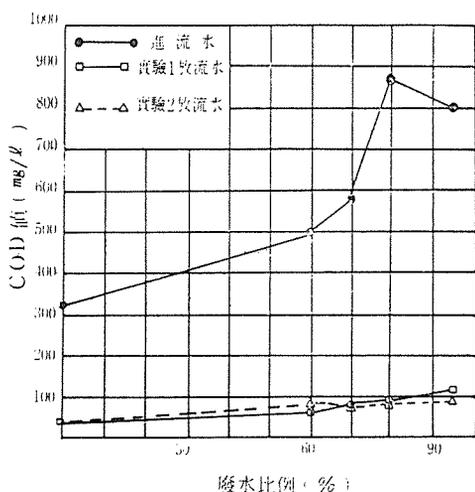


圖 4 第一梯次實驗進、放流水 COD 值

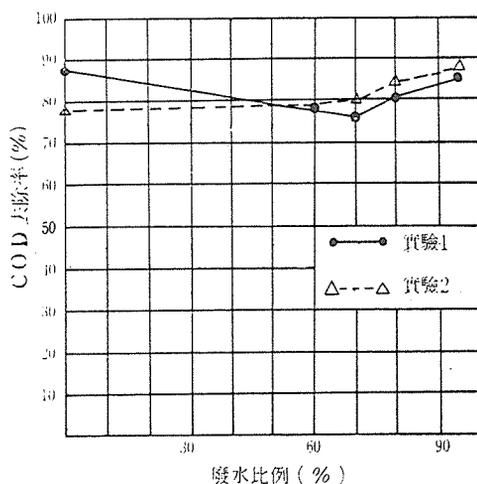


圖 5 第一梯次實驗 COD 去除率

第 2 梯次中實驗 1 及實驗 2 之進、放流水 COD 值及其去除率如圖 6 及圖 7。

由以上可知，放流水之 COD 值大部分都在法定放流標準 200mg/l 以下，而二梯次間去除率之差別，乃因水肥具有緩衝效果，故雖未調 pH，在與水肥混合後均能維持 pH 在 7~8 之間，故其差異乃在於所使用水肥的來源不同所致，由以上關係知，回分式活性污泥法對此糖精廢水有良好處理效果，且使用廁所廢水當作營養鹽補充劑效果更高，在此情況下，若放流標準修改而更嚴格，本系統亦能符合要求。

(二) BOD 去除之比較

二梯次之進、放流水 BOD 值如圖 8、9 及表二，由此可知，在 BOD 去除上亦有良好效果，幾乎放流水之 BOD 值均在 100mg/l 以下，而且以第二梯次更佳，二梯次間之差異乃至於所使用之水肥不同，已如前述，此乃因水肥廠之水肥含較多固體物，實驗時未加過濾

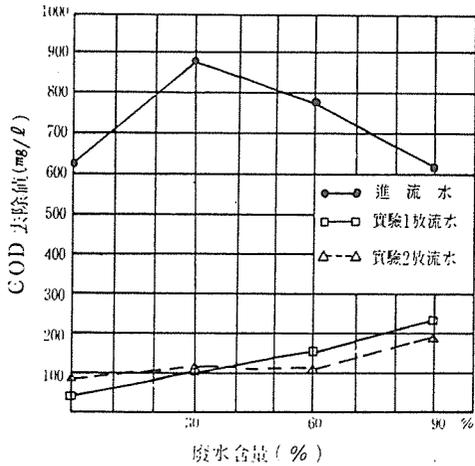


圖 6 第二梯次實驗進、放流水COD值

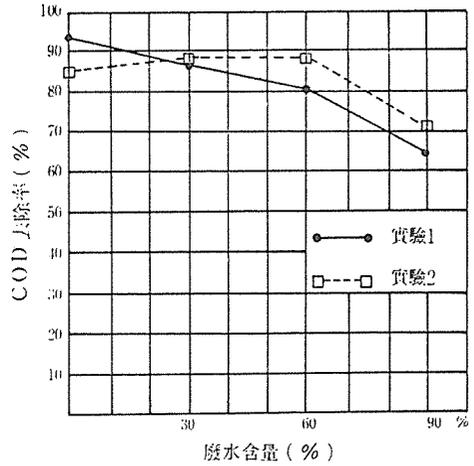


圖 7 第二梯次實驗COD去除率

而使用，增加污泥量，隨著污泥的排出，相對地也將微生物排出，使污泥品質較差，故使用化糞池水肥者之效果遠較使用水肥廠水肥好，且在高濃度廢水下，仍有令人非常滿意之效果。

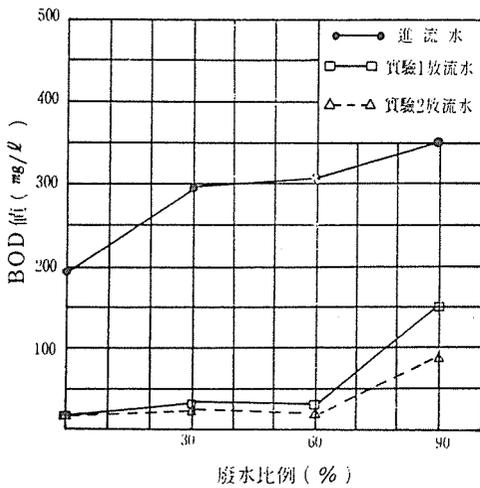


圖 8 第一梯次實驗進、放流水BOD值

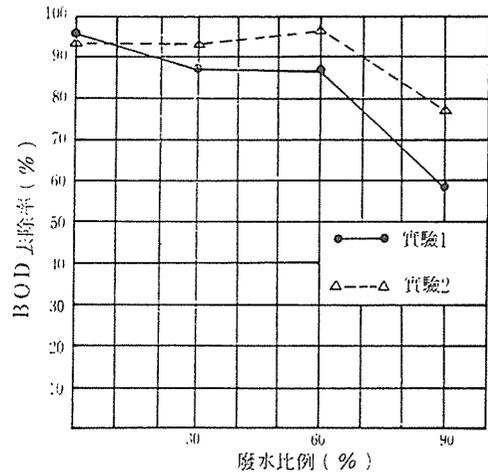


圖 9 第一梯次實驗BOD去除率

表二 第二梯次高比例廢水放流水BOD值及去除率

廢水含量 (%)	系統 BOD值 (mg/l)		系統 去除率 (%)	
	實驗 1	實驗 2	實驗 1	實驗 2
80%	11.8	2.9	80%	97.3
95%	23.6	21.8	95%	94

在曝氣時間上，23小時曝氣較只曝氣 8 小時者有較佳之效果。

(三) pH 值之變化

於二梯次實驗中，進、放流水 pH 值變化如圖10、11。

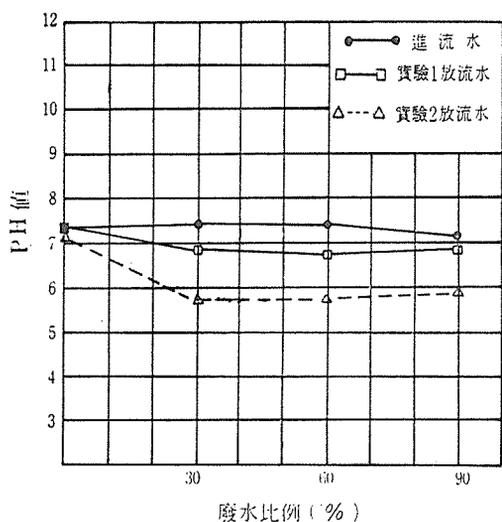


圖10 第一梯次實驗進、放流水 pH 值

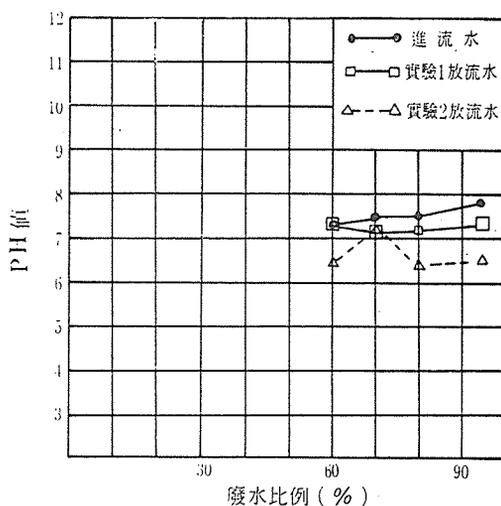


圖11 第二梯次進、放流水 pH 值

由於水肥本身具有緩衝效果，因此在第二梯次實驗中雖然廢水 pH 未調整，但混合水肥後亦能維持於 7 ~ 8 之間，但隨著廢水比例的提高，pH 也有上升傾向，若增至 100 % 之廢水後，因無水肥緩衝，其 pH 高達 9 左右，對活性污泥有不良影響。

由圖中可看出，曝氣23小時者其 pH 降低量較大，而對照於 COD 及 BOD 之去除，亦顯示23小時曝氣之去除率較佳，亦即去除率與 pH 降低量有正相關關係。

四不加水肥之結果

當廢水以 100 % 之比例加入，亦即不加水肥以補充營養鹽時，得表三之結果，隨天數增加，污泥均慢慢分解而使水質更惡劣，因此證明此糖精廢水缺磷，在不加其他補充物質時，

不能處理。

表三 廢水比例100%時COD去除率

天		數	1	2	3	4	5
COD 去除率 (%)	第一 梯次	實驗 1	40	-22	-77.5	30.4	-91
		實驗 2	86.3	42	42.1	73.8	-129
	第二 梯次	實驗 1	87.8	81.6	53.5	-10.8	污泥分解
		實驗 2	88.6	91.3	80.9	-25.2	污泥分解

(五)現場實際操作結果

以建設完成之現場處理設備，比照實驗室之條件操作，得如表四之結果。

表四 現場設備操作之COD值及去除率

採 樣 數	進 流 水	排 放 水	去 除 率	採 樣 數	進 流 水 mg/l	放 流 水 mg/l	去 除 率 (%)	採 樣 數	進 流 水 mg/l	放 流 水 mg/l	去 除 率 (%)	採 樣 數	進 流 水 mg/l	放 流 水 mg/l	去 除 率 (%)
1	503	172	65.8	15	488	120	75.4	29	512	148	71.1	43	583	178	69.5
2	485	146	69.9	16	346	112	67.6	30	396	136	65.7	44	366	122	66.7
3	386	164	57.5	17	402	108	73.1	31	478	128	73.2	45	524	146	72.1
4	676	260	61.5	18	622	128	79.4	32	503	166	67.0	46	845	128	84.9
5	427	195	58.7	19	712	188	73.6	33	711	152	78.6	47	476	152	68.1
6	385	124	67.8	20	486	126	74.1	34	548	134	75.5	平均去除率=69.5% 放流水平均COD 值 =145mg/l			
7	376	144	61.7	21	348	164	52.9	35	396	160	59.6				
8	420	168	60.0	22	424	148	65.1	36	915	142	84.5				
9	612	120	80.4	23	378	116	69.3	37	402	130	67.7				
10	364	136	62.6	24	466	178	61.8	38	387	154	60.2				
11	456	128	71.9	25	362	123	66.0	39	496	120	75.8				
12	438	116	73.5	26	420	160	61.9	40	526	142	73				
13	364	104	71.4	27	656	126	72.0	41	1224	205	83.3				
14	426	156	63.4	28	428	136	68.2	42	672	124	81.5				

由於倍克公司該廠之廁所廢水量不夠，故仍以一般水肥當作添加劑，其廢水比例為90~95%，所得結果與第一梯次實驗結果相符，為65~73%去除率之內，且其放流水亦符合現階段之法定放流標準。

五、結論與建議

1. 廢水中雖含大量之碳及氮元素，但缺乏磷，構成營養上之不平衡，須加入其他物質補充，若以水肥加入可得良好之效果，尤其以普通廁所化糞池之水肥較佳。
2. 該廢水含大量 NH_4OH ，使 pH 偏高，在處理前應先調整至中性，否則對污泥較不利。
3. 實驗結果顯示，在廢水比例高達80~90%時，仍有很好去除效果，為提高處理效率，可將水肥減至5~10%即可。
4. 由實際現場操作的結果，所獲得數據與實驗所得相同，可見回分式活性污泥系統適用於此糖精廢水之處理。

六、誌 謝

本實驗進行期間，由於倍克公司全力配合，逢甲大學環境科學系之儀器、藥品之全力支持下，方能完成，謹此致上由衷謝忱。

參 考 文 獻

1. Irvine, R.L, Miller, G. and Bhamrah, A.S. "Sequencing Batch Treatment of wastewater in Rural Areas" J.W.P.C.F. Vol. 51, No. 2, P.244 Feb (1979).
2. Irvine, R.L, Ketchum. L. H. and Dennis R. W., "Sequencing Batch Reactors to Meet Compliance" Alche symposium Series-water. No. 190, Vol. 75 P. 186 (1978).
3. Jonathan C. Palm, David Jenkins and Denny S. Parker "Relationship between organic loading, dissolved rxygen concentration and sludge process" J.W.P.C.F. Vol.52 No. 10; October (1980).
4. "Standard Methods, for the Examination of water and wastewater" 15 Edition, American Public Health Association (1981).
5. 李俊德、劉志仁「自動程序控制分批式活性污泥法處理醬油廢水之研究」中國土木工程學會第八屆廢水處理技術研討會論文集，P 131~154. (1983).
6. 歐陽嶠暉「下水道工程學」長松出版社 (1983)。
7. 顏國榮、藍百毅「限制曝氣回分式活性污泥法處理人工廢水之初步研究」逢甲大學環境科學系學士論文 (1984)。

活性污泥處理系統的指標微生物

鄭育麟*

一、前言

污水生物相的變化，受處理廠進流水質與操作條件之影響。而檢視活性污泥中之生物相，不但比化學檢驗來得快速，且所得之結果往往比化學檢驗佳。生物相檢視，亦可作為處理廠操作管理指標及預估污水廠放流水水質之狀況。本人平時就對活性污泥中之微生物有濃厚之興趣，乃就本廠活性污泥在顯微鏡下較易觀察之微生物，加以整理描述，並提供形態圖與照片，俾對操作者有所幫助。

二、本廠簡介

本廠處理之污水有工廠廢水與家庭污水二種。而工廠廢水包括木工、紡織、鐵工、海產食品、雜糧加工、染料、皮革等諸類廢水。本廠處理系統包括原污水抽水站、曝氣沉砂池、調和池、初沉池、曝氣池、二次沉澱池、迴流污泥與廢棄污泥等設備，是一典型之傳統式活性污泥處理系統。

三、本廠活性污泥之微生物組成

本廠活性污泥微生物有細菌 (Bacteria)、菌類 (Fungi)、原生動物 (Protozoa)、輪蟲 (Rotifers)、線蟲 (Nematodes)。放流水指標生物有水蚤 (Cladocerans)、紅蟲 (Chironomidae)、及藻類 (Algae)、魚類。

現乃就本廠用顯微鏡較易觀察得到之微生物，加以說明描述。

1. 細菌

細菌大小約在 $0.2\sim 5\mu$ 左右 ($\mu, \text{micron}=0.001\text{mm}$)。需用油鏡而先經染色觀察才能見其形體，只有利用電子顯微鏡才能觀察其菌體內的結構。由於細菌在普通顯微鏡中觀察手續較為困難，所以不加以描述。至於細菌之種類，亦因廢水性質而異，如含蛋白質較高之廢水中，通常有 *Alcaligenes* (產鹼桿菌屬)、*Flavobacterium* (產黃菌) 及 *Bacillus* 等細菌出現。而含碳水化合物或碳氫化合物之廢水，則常為 *Pseudomonas* 之細菌及菌類之生

* 安平工業區管理中心

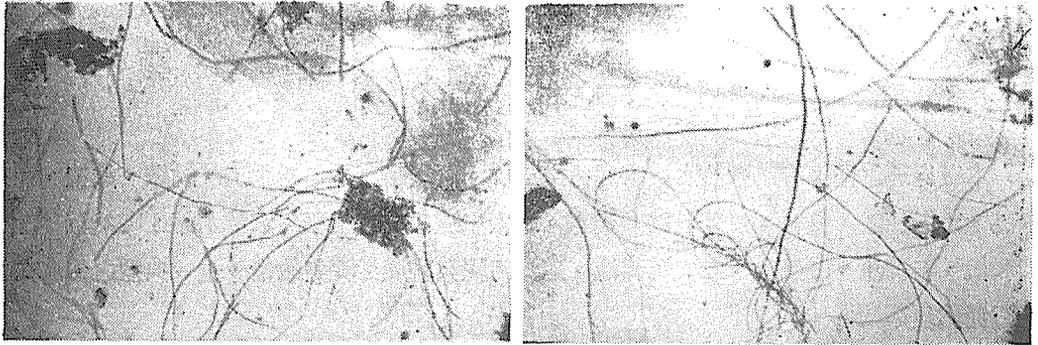
長。有機酸、醛類、酮類、醇類都可促進假單胞菌屬、細球菌屬、桿菌屬 *Achromobacter* 之生長。無機溶液可促進藻類之生長，而細菌和藻類都可促進原生動物之生長。

2. 真菌

真菌在活性污泥操作中，是一種不受歡迎之微生物，蓋因大多真菌呈絲狀之形態，通常稱做絲狀菌，能阻礙良好膠羽之形成，造成污泥鬆化，致大量污泥從二次沉澱池溢流散失，影響放流水品質，提高放流水 S. S 含量及濁度，對活性污泥處理操作，造成嚴重之困擾。

絲狀菌在顯微鏡下很容易觀察，一般呈髮絲狀。在廢水之 pH 值過低，養料缺乏（缺氮），或溶氧不足及有毒物質流入之環境下，容易促使其生長，此乃由於絲狀菌具有較大之表面積，對溶解性物質、營養物、溶氧等之競爭力較強，在愈不利之環境下，其愈較其他微生物容易生存。

菌類在 pH=4.5 時很容易在高碳水化合物中生長。pH 在 7.0 時，若有抗生素存在亦可生長。所以菌類在低 pH，且有抗生素（抑菌劑）之環境下，能佔優勢生長。



3. 膠囊桿菌 (*Zoogloea ramigora*, *Zoogloea filipendula*)

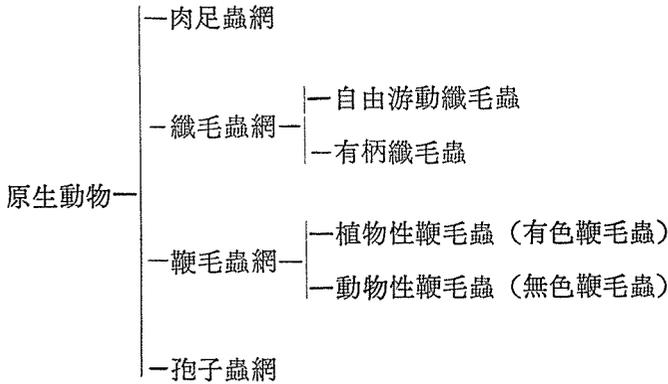
膠囊桿菌呈一珊瑚狀之美麗圖案，此種生物可作為活性污泥沉降良好之指標，蓋因此種生物出現時，絲狀菌會大量消失，而使活性污泥黏稠性增加，污泥結構增強。若有此種生物出現表示污泥沉降良好，處理後放流水質佳。



4. 原生動物 (Protoza)

原生動物在廢水處理上扮演著極重要角色。能以細菌為食物，作為自身能量之來源。在活性污泥中最主要之原生動物為纖毛蟲類。當細菌生長旺盛之初期，一種可以自由游動之纖毛蟲 (Free-swimming Ciliates)，因其較易捕獲細菌作為食物，將最先取得優勢生長，且隨細菌數之增加而激增。唯其自由游動必需較高之能量，故俟細菌數目減少，食物來源短缺時，其優勢生長之條件乃為之消失，而漸為另一種毋需較高能量之有柄纖毛蟲 (Stalked Ciliates) 取代。因此當大量有柄纖毛蟲出現時，可作為生物處理效果之良好指標。

分類

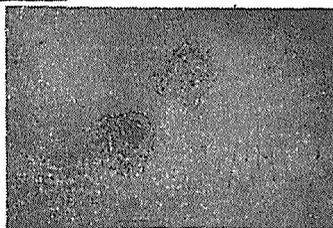
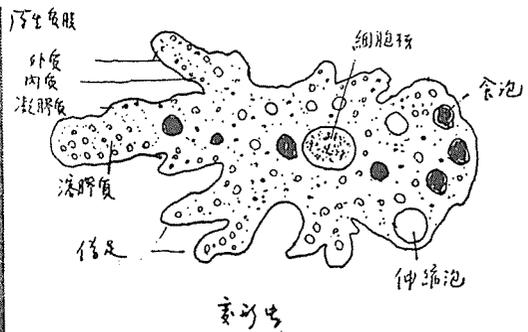
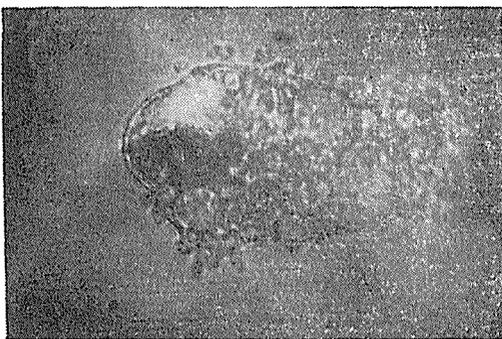


現茲將原生動物在顯微鏡下較易觀察之部份，加以說明：

(A) 活性污泥原生動物

(一) 變形蟲：

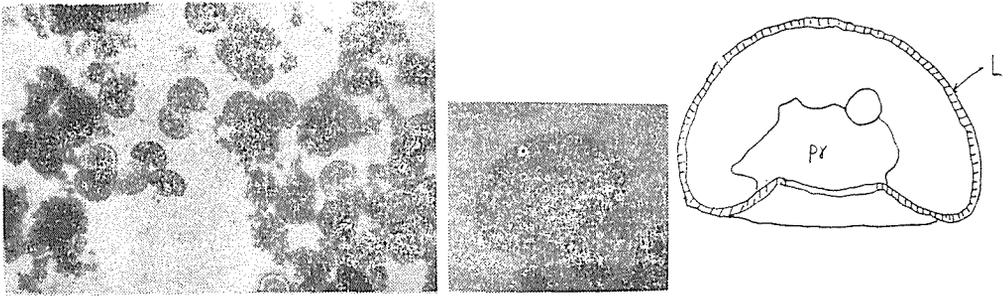
變形蟲屬肉足蟲綱 (Class Sarcodina)，沒有一定的形狀，在水中自由游走，為原生動



物中以偽足運動的種類之一。為單細胞個體，其原生質有內質（膠溶狀）（Endoplasm）和外質（膠凝狀）（Ectoplasm），體內有一細胞核，多個伸縮泡及食泡。當變形蟲與食物相接觸時，膠凝胞質便改變為膠溶胞質，此時胞膜內其他部位胞質的收縮力，可以壓迫內胞質流向膠溶胞質方向，而導致偽足產生。偽足伸向食物，逐漸將之包圍形成胞內之食泡，胞質隨即分泌消化酶進入食泡，將食物消化分解利用，所餘殘渣則排出體外。變形蟲之呼吸靠簡單之擴散作用，將環境中高濃度的氧擴散到細胞內，而細胞內濃度較大的二氧化碳則自然擴散而出。在活性污泥中普通在夏天及秋天可看到。亦屬於活性污泥原生動物。

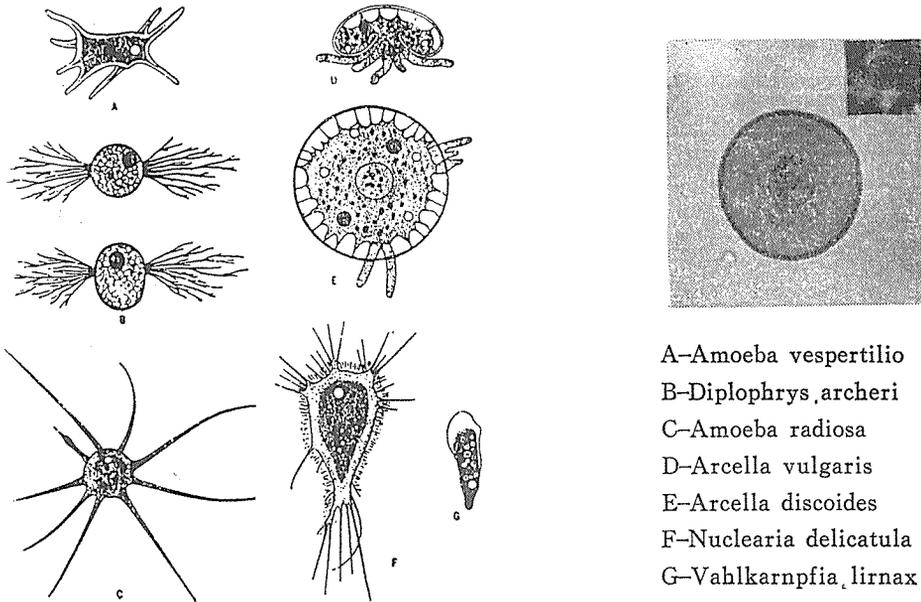
(二) 蕈頂蟲 (Arcella)

依其流動性細胞質來判別，腹口面觀（由上至下看）成一圓形，外圍有 1.5μ 之殼圍成，內有原生質。從側面觀腹（側面觀之），成一半圓形草菇狀，有時可看見偽足，可用來



L: 殼 pr: 原生質

IX. BIOLOGIC EXAMINATION



A-Amoeba vespertilio
 B-Diplophrys archeri
 C-Amoeba radiosa
 D-Arcella vulgaris
 E-Arcella discoides
 F-Nuclearia delicatula
 G-Vahlkarnpfia lirnax

XVI. Amoebas

運動及捕食，經常可在活性污泥處理系統發現。有時和一些鞭毛蟲、輪蟲在曝氣池中大量繁殖，放流水及水質佳。

(三)鐘形蟲

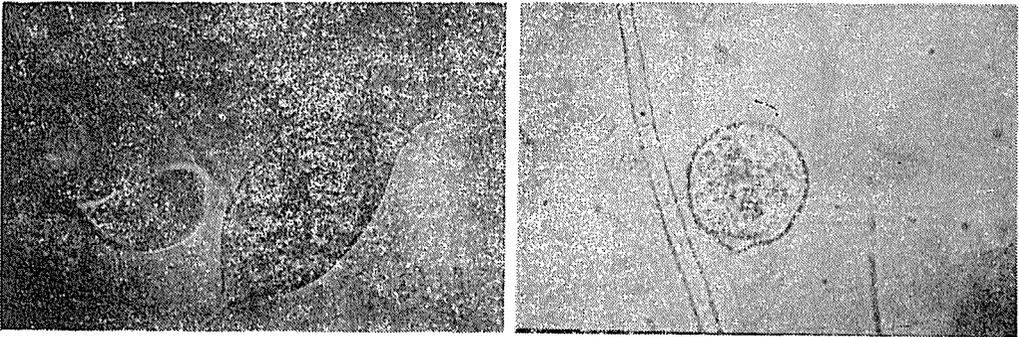
屬於纖毛蟲類。體若鐘形，但鐘口朝上，下方有一鐘柄具有伸縮性，為固着生長之用。體無色或略呈黃色、綠色等，鐘口處有纖毛。鐘形蟲為羣體生活的一種纖毛蟲，其羣體在顯微鏡下有如一簇簇的花朶。鐘形蟲的纖毛詳細觀察可以分為內外二列，排列於鐘口處，但有一小部份沒有纖毛，稱之為頸部。細胞體內有口管、口咽。一伸縮泡兼具貯藏之功，細胞質內有數個小食泡及一長形大核。其增殖法則以縱分裂方式為之。屬活性污泥原生動物。

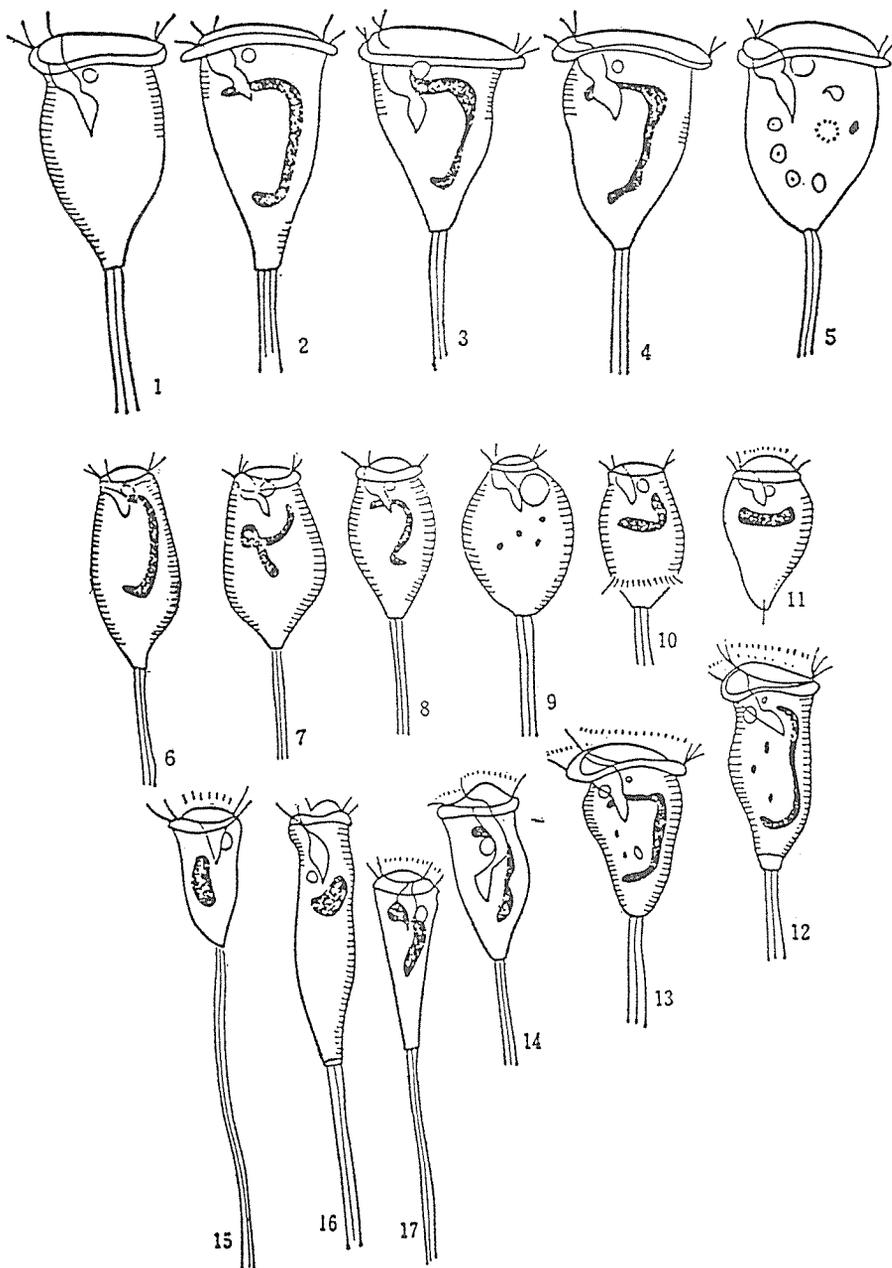
鐘形蟲可分為 ① *Vorticella* 屬 ② *Epistylis* 屬 ③ *Opercularia* 屬

④ *Zoothamnium* 屬 ⑤ *Carohesium* 屬

① *Vorticella* 屬

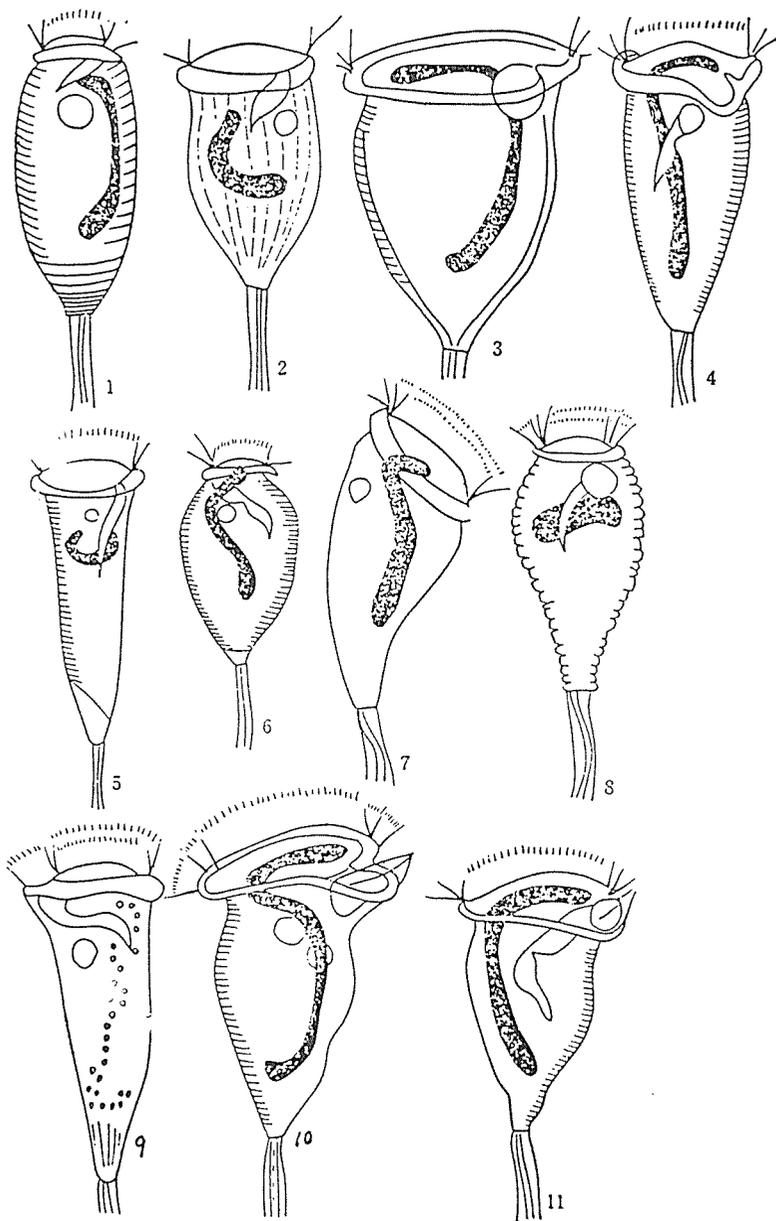
有原肌絲單一鐘形蟲。





纖毛蟲類 (9)

- | | |
|---|--|
| 1.~ 5. Vorticella (<i>V. convallaria</i>) | 14. Vorticella (<i>V. cucullus</i>) |
| 6.~11. Vorticella (<i>V. microstoma</i>) | 15. Vorticella (<i>V. longifillum</i>) |
| 12. Vorticella (<i>V. picta</i> f. <i>longa</i>) | 16. Vorticella (<i>V. extensa</i>) |
| 13. Vorticella (<i>V. picta</i> f. <i>typica</i>) | 17. Vorticella (<i>V. cucullus</i>) |

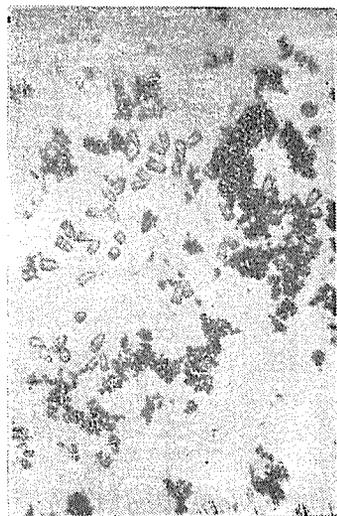
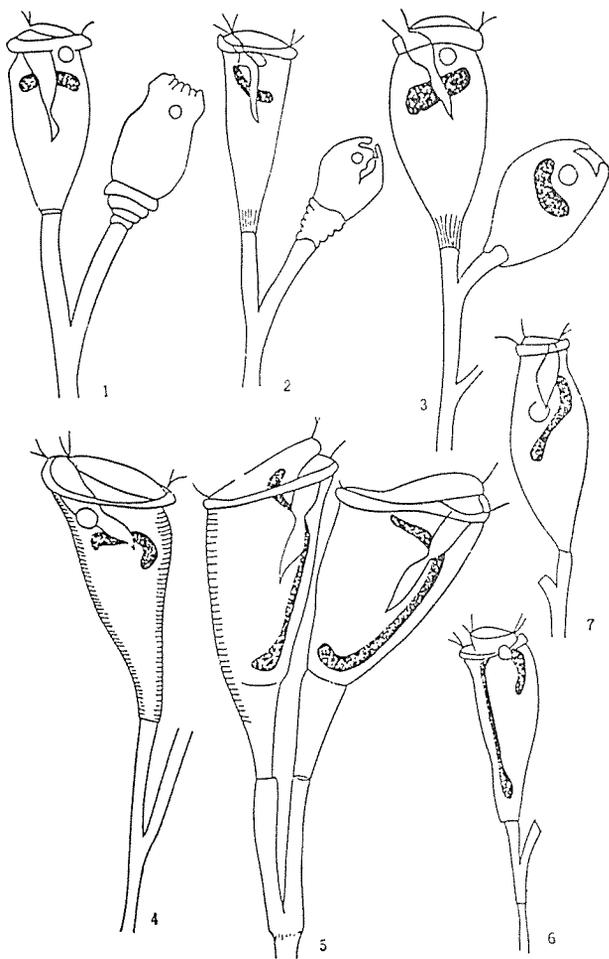
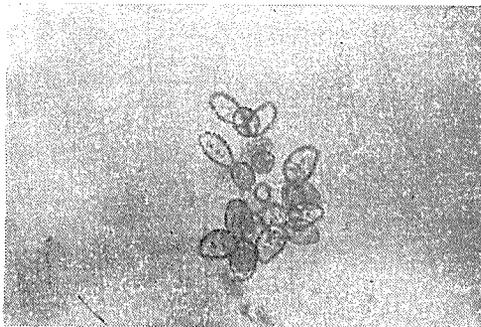


纖毛蟲類 (10)

- | | |
|--|--|
| 1. <i>Vorticella</i> (<i>V. acqnilata</i>) | 7. <i>Vorticella</i> (<i>V. nutans</i>) |
| 2. <i>Vorticella</i> (<i>V. alba</i>) | 8. <i>Vorticella</i> (<i>V. striata</i> v. <i>octava</i>) |
| 3. <i>Vorticella</i> (<i>V. campanula</i>) | 9. <i>Vorticella</i> (<i>V. vernalis</i>) |
| 4. <i>Vorticella</i> (<i>V. convallaria</i>) | 10. <i>Vorticella</i> (<i>V. picta</i>) |
| 5. <i>Vorticella</i> (<i>V. fromenteli</i>) | 11. <i>Vorticella</i> (<i>V. nebulifera</i> v. <i>similis</i>) |
| 6. <i>Vorticella</i> (<i>V. microstoma</i>) | |

② *Epistylis* 屬

無原肌絲有螺紋領一柄多鐘形蟲。生長溫度 4~25°C，pH6.5~7.5。

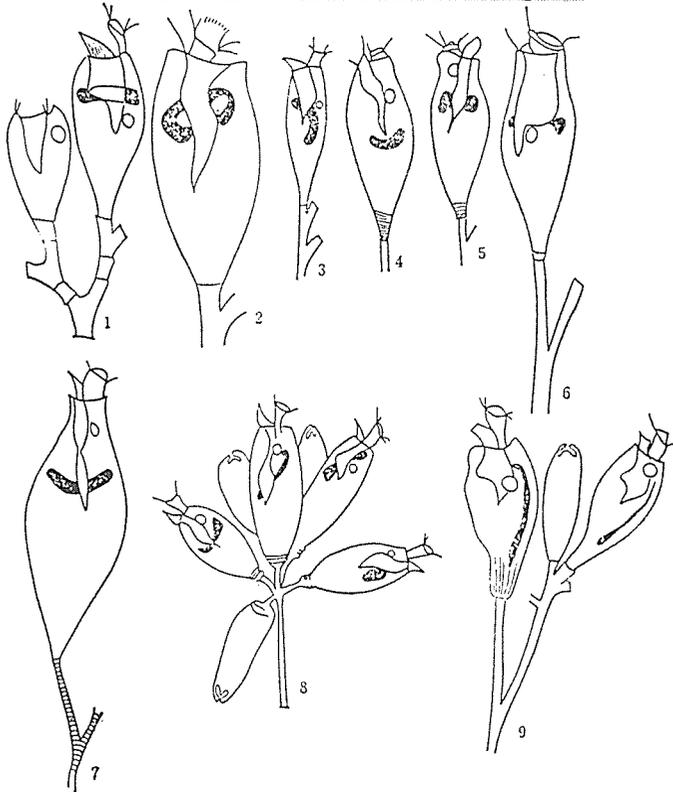
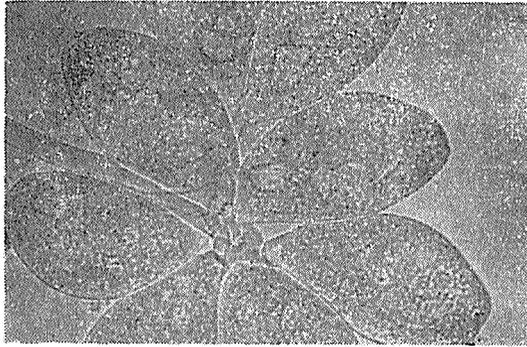


纖毛蟲類 (13)

- | | | |
|--|---|--|
| 1. <i>Epistylis</i> (<i>E. coronata</i>) | 4. <i>Epistylis</i> (<i>E. hentschli</i>) | 7. <i>Epistylis</i> (<i>E. elongata</i>) |
| 2. <i>Epistylis</i> (<i>E. plicatilis</i>) | 5. <i>Epistylis</i> (<i>E. galca</i>) | |
| 3. <i>Epistylis</i> (<i>E. rotans</i>) | 6. <i>Epistylis</i> (<i>E. lacustris</i>) | |

⑧ *Opercularia* 屬

無原肌絲無螺紋領一柄多鐘形蟲。



織毛蟲類 (11)

- | | |
|---|--|
| 1. <i>Opercularia</i> (<i>O. minima</i>) | 6. <i>Opercularia</i> (<i>O. allensi</i>) |
| 2. <i>Opercularia</i> (<i>O. microdiscum</i>) | 7. <i>Opercularia</i> (<i>O. nutans</i>) |
| 3. <i>Opercularia</i> (<i>O. phrygancae</i>) | 8. <i>Opercularia</i> (<i>O. glomerata</i>) |
| 4. <i>Opercularia</i> (<i>O. coarctata</i>) | 9. <i>Opercularia</i> (<i>O. asellicola</i>) |
| 5. <i>Opercularia</i> (<i>O. curvicaula</i>) | |

④ Zoothamnium 屬

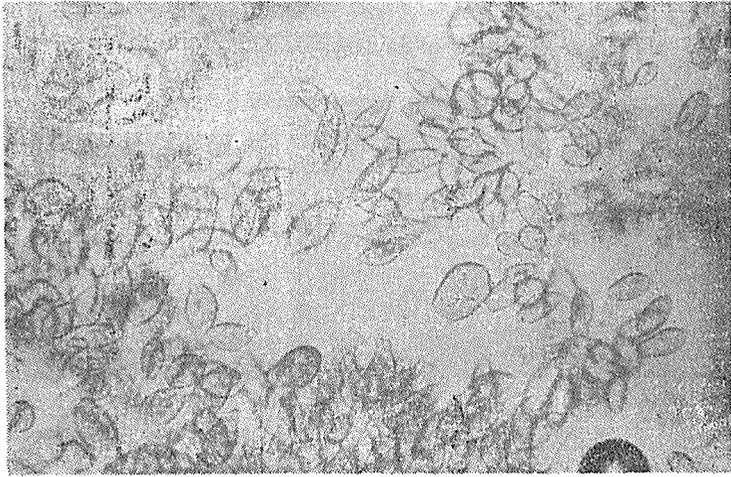
原肌絲連續性多數目鐘形蟲。



- 6. Zoothamnium (*Z. aseli*)
- 7. Zoothamnium (*Z. pygmaeum*)
- 8. Zoothamnium (*Z. adamsi*)
- 9. Zoothamnium (*Z. mucedo*)
- 10. Zoothamnium (*Z. commune*)
- 11. Zoothamnium (*Z. hentscheli*)

⑥ *Carohesium* 屬

原肌絲不連續性多數目鐘形蟲。

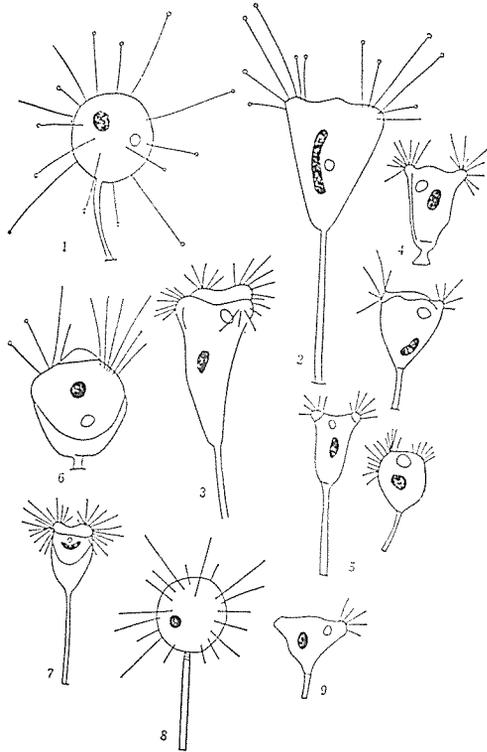
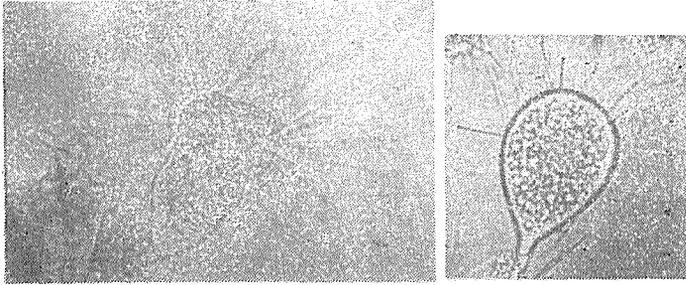


纖毛蟲類 (12)

1. *Carohesium* (*C. aselli*)
2. *Carohesium* (*C. epistylis*)
3. *Carohesium* (*C. gemellum*)
4. *Carohesium* (*C. polypinum*)
5. *Carohesium* (*C. polypinum* f. *corymbosum*)

四) 吸管蟲

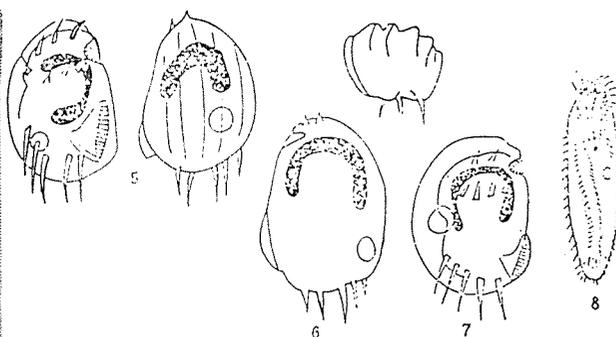
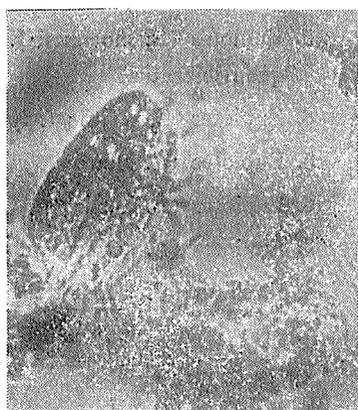
在吸管蟲之生命環中有自由游動期和成熟杯狀期二相。在成熟期有堅硬的觸鬚。觸鬚可用來附着游動的原生動物而最後進入細胞內。活性污泥中亦有此物之存在。常見的有①(足吸管蟲) *Podophrya* sp ② *Tokophrya* sp ③(倒錐蟲) *Acineta* sp。



- | | |
|---|---|
| 1. <i>Podophrya</i> (<i>P. fixa</i>) | 6. <i>Acineta</i> (<i>A. tuberosa</i>) |
| 2. <i>Podophrya</i> (<i>P. mollis</i>) | 7. <i>Acineta</i> (<i>A. cuspidata</i>) |
| 3. <i>Podophrya</i> (<i>P. maupasii</i>) | 8. <i>Acineta</i> (<i>A. grandis</i>) |
| 4. <i>Tokophrya</i> (<i>T. quadripartita</i>) | 9. <i>Acineta</i> (<i>A. minuta</i>) |
| 5. <i>Acineta</i> (<i>A. foetida</i>) | |

(五) *Aspidisca* 屬

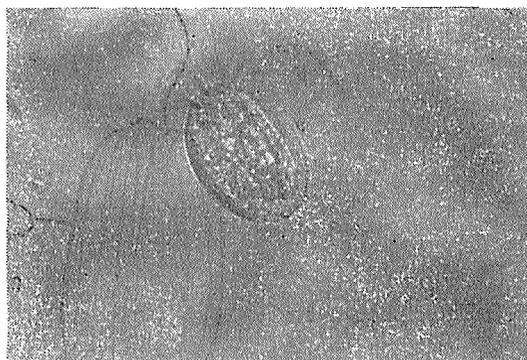
爬行纖毛蟲，胞體卵圓形，堅硬， $25\sim 50\mu$ ，胞體背部隆起，具3~6條明顯背脊(ridge)，腹面扁平，具剛毛(Currus)，前腹7根，後腹5~12根，無緣毛與尾毛，通常利用剛毛爬行。大核馬蹄形、小核球形、伸縮泡一個，位於胞體右側。生長溫度 $0\sim 30^{\circ}\text{C}$, pH $5.6\sim 9.4$ 。



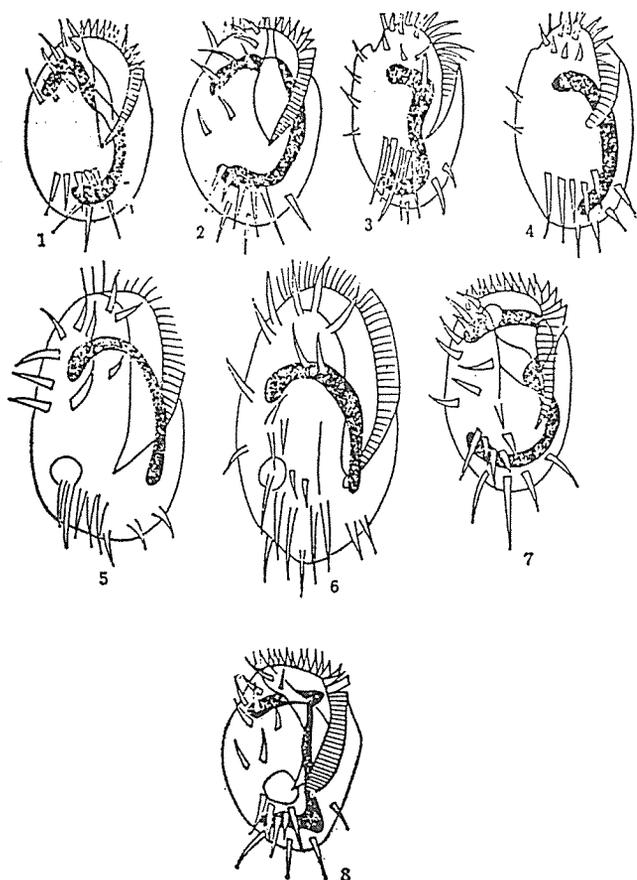
- 5. *Aspidisca* (*A. costata*)
- 6. *Aspidisca* (*A. lynceus*)
- 7. *Aspidisca* (*A. turrita*)
- 8. *Aspidisca* (*A. polystyla*)

(六) *Euplotes* 屬 (游仆蟲)

爬行纖毛蟲，胞體卵圓形，堅硬， $80\sim 200\mu$ ，狀似 *Aspidisca*，體形較大，胞體背部隆起，具5~8條背脊，腹面扁平，具剛毛，前腹9根，後腹5根，尾部4根。



Euplotes patella

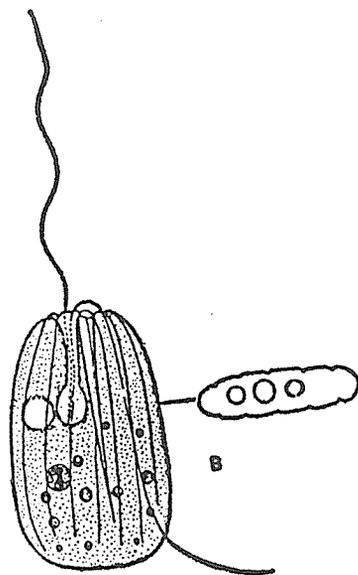


1. Euplotes (*E. aediculatus*)
2. Euplotes (*E. patella*)
3. Euplotes (*E. mocbuisi* f. *quadricirratu*s)
4. Euplotes (*E. affinis* f. *typica*)
5. Euplotes (*E. charon*)
6. Euplotes (*E. harpa*)
7. Euplotes (*E. eurystomus*)
8. Euplotes (*E. woodruffi*)

(七) **Entosiphon** 屬

鞭毛蟲，胞體圓桶形，略扁， 25μ ，胞口大，具波口狀緣，前端兩根鞭毛，咽管長椎形。

-Entosiphon ovata



(八) *Litonotus* 屬 (長吻蟲)

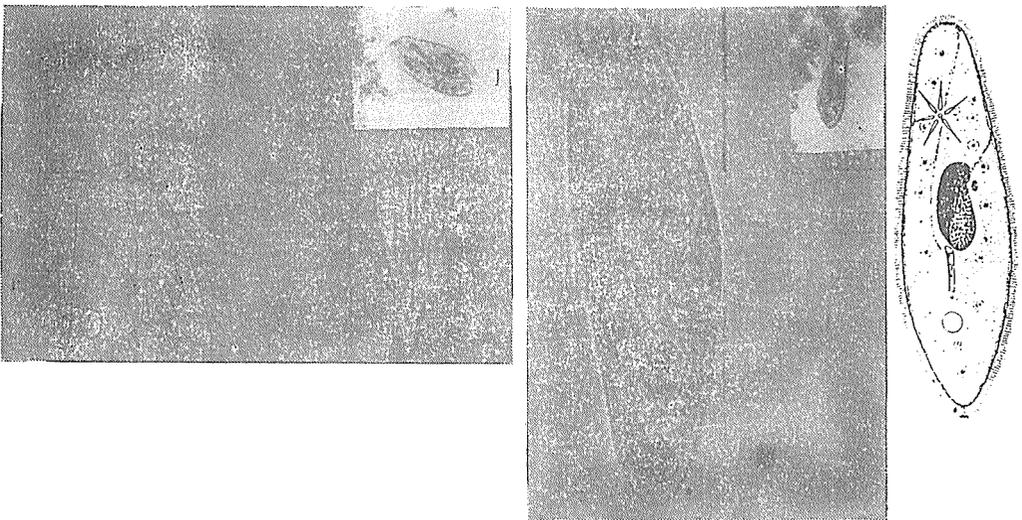
纖毛蟲，胞體扁橢圓形，具長扁脛，彎向背部， 100μ ，胞口具長裂縫，脛背無纖毛，伸縮泡在後端，大核兩個，為底棲肉食型。



Litonotus sp

(九) *Paramecium* 屬 (草履蟲)

纖毛蟲，週身有短而整齊的纖毛，腰部有明顯口溝，形成食泡，細胞表膜下具絲泡，前後端各一伸縮泡，連接輻射管。草履蟲可行分裂法繁殖，在行分裂繁殖後，必經有性之接合生殖，方能恢復活性。草履蟲對於酸鹼性亦有反應，常趨向酸性。因而腐物或細菌為其食物之來源。

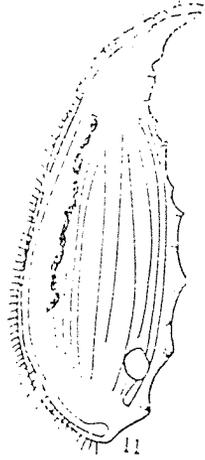


草履蟲行結合生殖

(B) 中間性活性污泥原生動物

(一) *Loxophllum* 屬

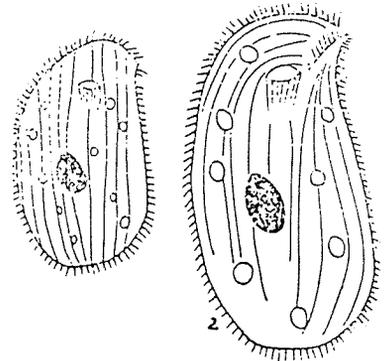
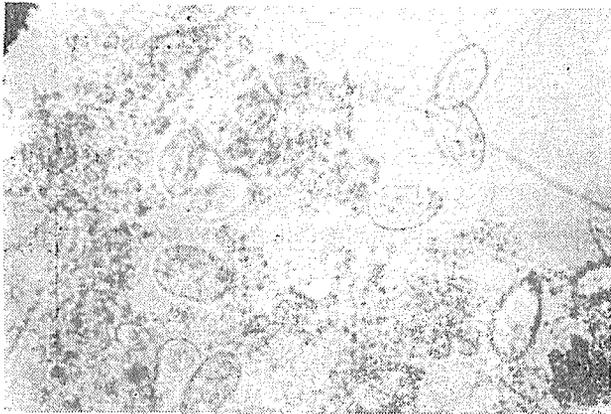
纖毛蟲，多種形態， $100\sim 700\mu$ ，背部具一羣絲泡，多數小核。



L. meleagris

(二) *Chilodonella* 屬

纖毛蟲，胞體卵圓形，背部隆起，腹面扁平有纖毛，胞口前端有裂縫，向左伸至尖端，多生活在停滯的污水中。有大核一個，呈球形。

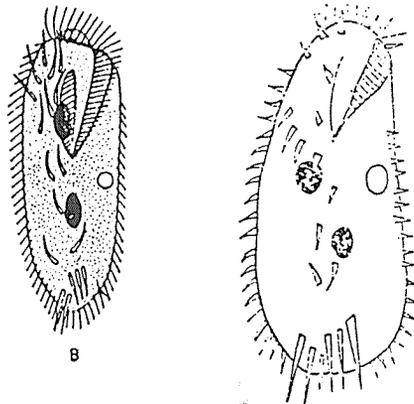


1. *C. fuviatilus*

2. *C. Cucullulus*

(三) *Oxytricha* 屬

細胞長橢圓形， $50\sim 250\mu$ ，背部隆起，腹部扁平，腹部具剛毛，前端 8 根，中央 5 根，尾部 5 根，有的有緣毛，有的無緣毛。



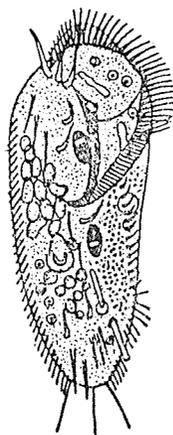
—*Oxytrichia bifaria*

Oxytricha (*O. fallax*)

(四) *Stylonichia* 屬 (桿尾蟲)

爬行纖毛蟲，細胞長橢圓形，細胞略扁，腹部具剛毛，前端 8 根，中央 5 根，後端 5 根，尾部 3 根，全緣具短粗剛毛，前方胞口處剛毛較長。大核兩粒，小核兩粒，收縮泡在胞口後方。生長溫度 $2 \sim 25^{\circ}\text{C}$, pH 4.0~8.4。

桿尾蟲與游仆蟲 (*Euplotes*) 均尾下毛目 (*Hypotrichida*) 桿尾蟲尾端有三條刺毛；游仆蟲的尾端則有四條刺毛。

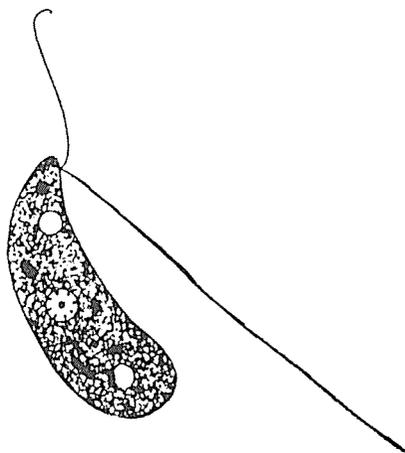


Stylonichia mytilus

(C) 非活性污泥原生動物

(一) *Bodo* 屬

鞭毛蟲，細胞卵形， $11 \sim 15\mu$ ，具兩根鞭毛，其中一根向尾端伸展，無口槽，體略具可塑性，通常生存在溶解性有機濃度高之環境中。



Bodo caudatus

(二) *Pleuromonas* 屬

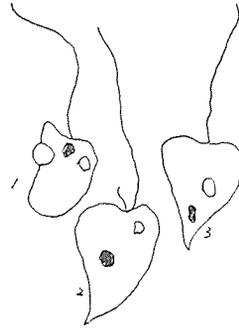
鞭毛蟲，細胞卵形， $6 \sim 10\mu$ ，肢體可作變形蟲變化，具粗細兩根鞭毛，較細一根伸向尾端，常附着他物，作跳躍運動。



P. jaculans

(三) *Oikomonas* 屬

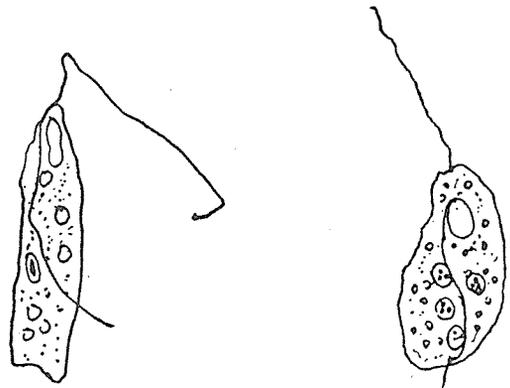
植物性鞭毛蟲，體球形，具一根鞭毛。



- 1. *O. termo*
- 2. *O. rocialis*
- 3. *O. steinii*

(四) *Peranema* 屬 (線鞭蟲)

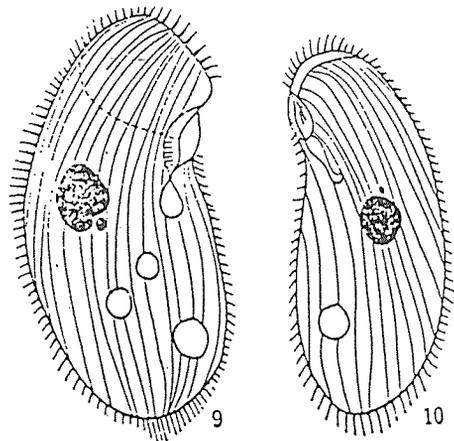
鞭毛蟲，長筒形，前端略尖，後端較鈍， $20\sim 70\mu$ ，胞體可塑性，表面具斜紋，兩根鞭毛，其中一根貼在腹面，游泳時不旋轉，前方具口槽，咽管長桿狀。胞內含多數澱粉核與食物胞，常出現在不活動污水中，及常在高有機負荷之活性污泥中出現。



P. trichophorum

(五) *Colpidium* 屬

纖毛蟲，腎臟形， $50\sim 120\mu$ ，細胞全體具纖毛，後方纖毛較長，胞口在細胞右前方 $\frac{1}{4}$ 處，右側具一波動膜，大核一個，球形，小核一個。生長溫度 $4\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，pH 4.0~8.9。



C. Campylum

(六) 櫛口蟲 (Epalxis)

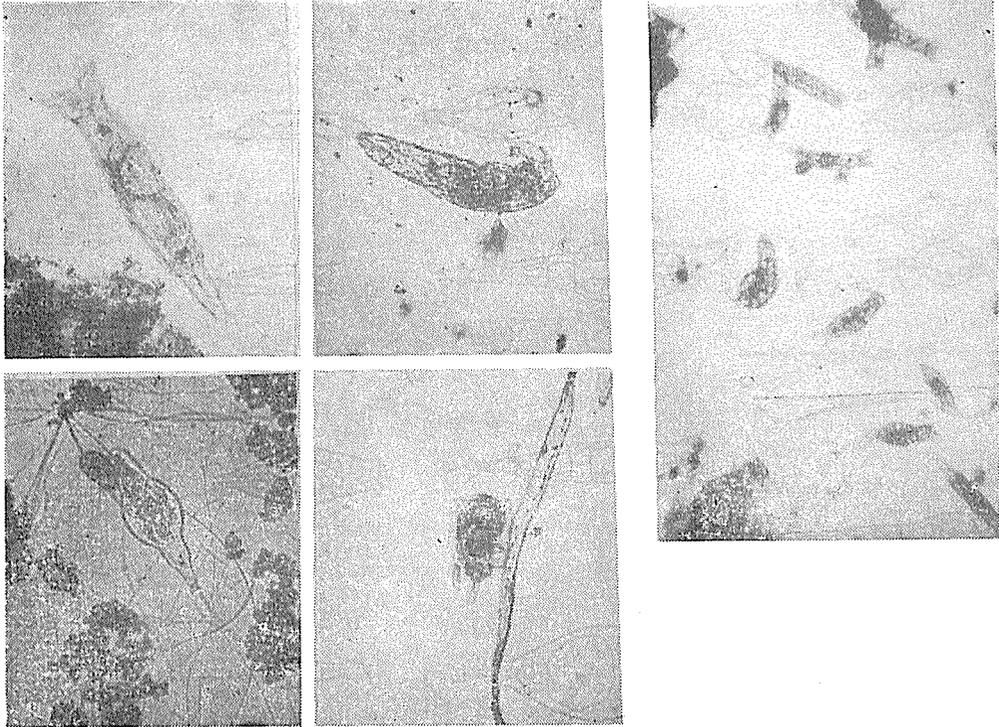
纖毛蟲，體扁，表膜堅硬，纖毛數少，口後方有如櫛狀的構造，生活於缺氧的水中。



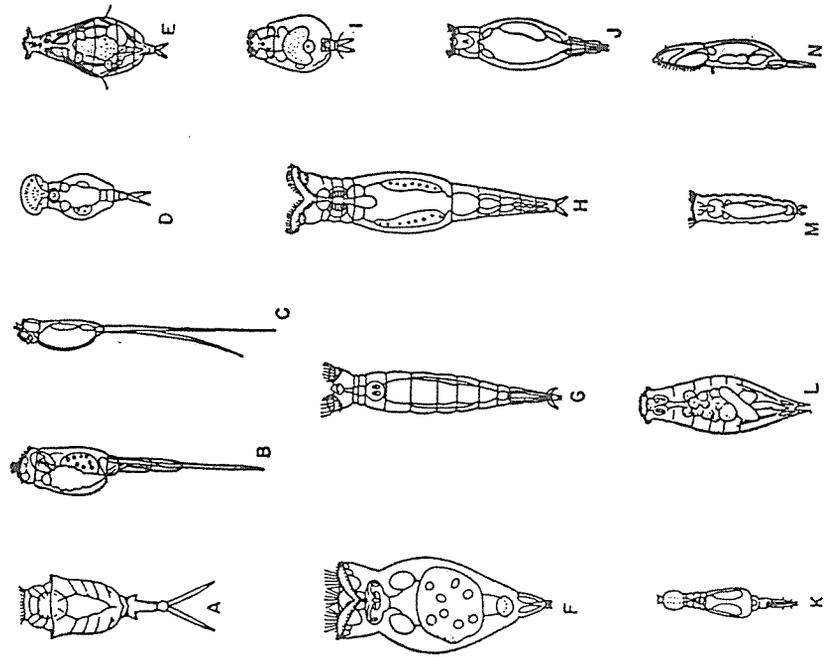
Epalxis

5. 輪蟲類 (Rotifers)

輪蟲為最簡單的多細胞動物，具有輪狀排列之纖毛，用以捕食及運動。主要食物為細菌及細小之有機顆粒。輪蟲具有完備的消化道及咀嚼器、假體腔，以及排泄用的焰細胞，神經系統也發達。輪蟲體細胞數恒定，為細胞恒定動物之一，即使構成器官之細胞數亦有一定。細胞分裂於胚胎時期即已停止，任何誘導細胞分裂之方法都不能使牠分裂，生長及受損後之修補皆無可能。輪蟲的生殖是為孤雌生殖，雌雄異體，雌蟲與雄蟲之外形及內部構造皆不相同，但雄蟲甚難得見之。雌蟲的卵與卵黃顆粒相聯接，無需受精便可發育。由於代謝習性，故僅可在低有機物含量之水中發現，是一種低污染水體的良好指標。



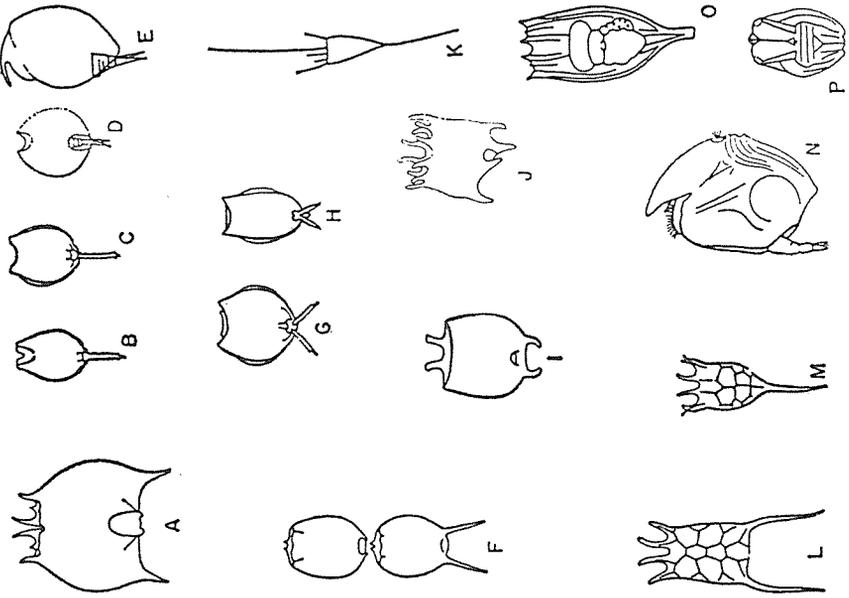
IX. BIOLOGIC EXAMINATION



XXII. Rotifers

- A-*Trichotria tetractis*
- B-*Scaridium longicaudum*
- C-*Monommata grandis*
- D-*Squatmella mutica*
- E-*Notommata copeus*
- F-*Epiphanes scuta*
- G-*Rotaria citrinus*
- H-*Philodina roseola*
- I-*Euchlanis dilata*
- J-*Pleurotrocha petromyzon*
- K-*Adineta vaga*
- L-*Proalcs sp.*
- M-*Tapihrocampa annulosa*
- N-*Dicranophorus forcipatus*

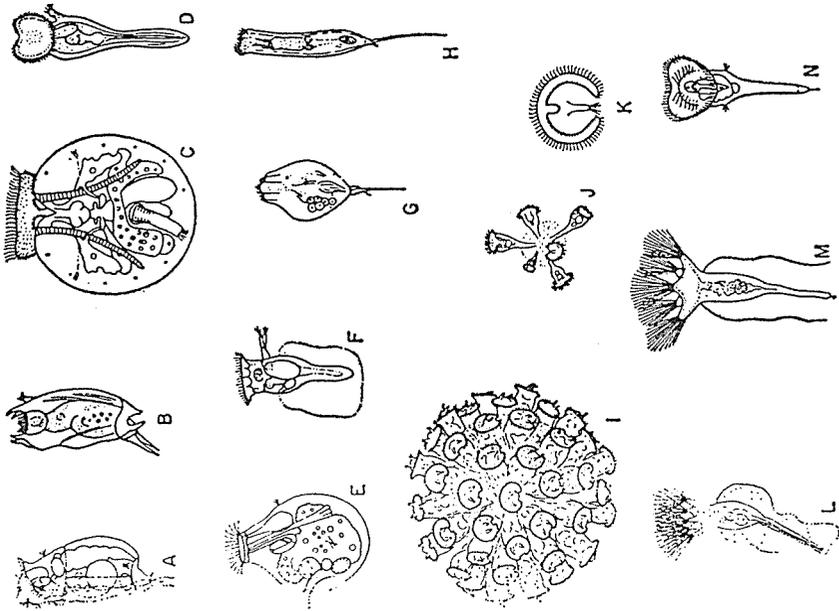
X. COMMON AQUATIC ORGANISMS



XXIII. Rotifer

- A-*Brachionus quadridentata*
- B-*Monostyla bulla*
- C-*Monostyla lunaris*
- D-*Lepadella ovalis*
- E-*Colurella obtusa*
- F-*Brachionus angularis*
- G-*Lecane luna*
- H-*Lecane ohioensis*
- I-*Platytias quadricornis*
- J-*Platytias patulus*
- K-*Kellicottia longispina*
- L-*Keratella quaarata*
- M-*Keratella*
- N-*Ploesoma*
- O-*Notholea*
- P-*Ploesoma (lorica)*

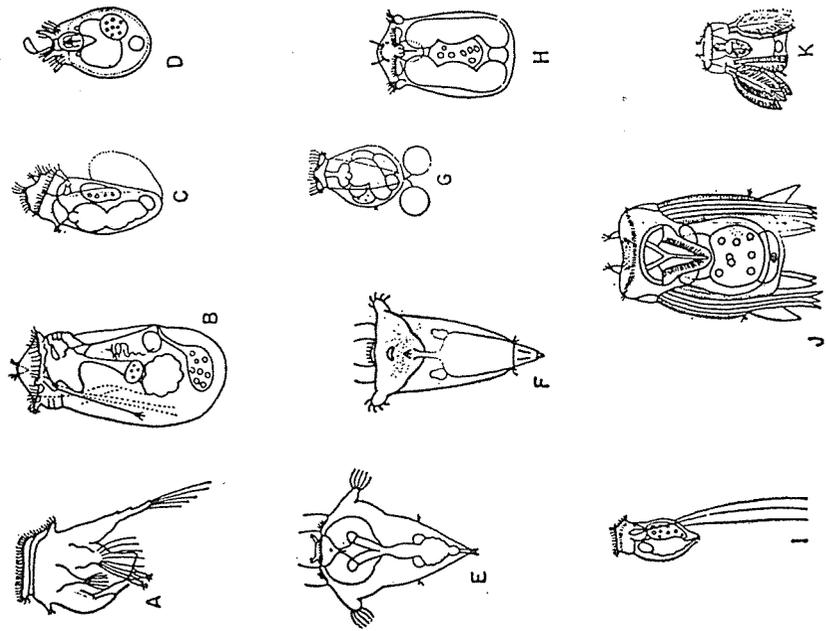
IX. BIOLOGIC EXAMINATION



XXIV. Rotifers

- A-Cophalodella auriculata
- B-Alytilina mucronata
- C-Testudinella patina
- D-Sinantherina sp.
- E-Gmstropus stylifer
- F-Conochiloides dossuarius
- G-Trichocerca multicrinis
- H-Trichocerca sp.
- I-Conochilus hippocrepis, colony
- J-Conochilus unicornis, colony
- K-Conochilus unicornis, frontal view of corona
- L-Floscularia sp.
- M-Collotheca
- N-Microcodon clavus

COMMON AQUATIC ORGANISMS



XXV. Rotifers

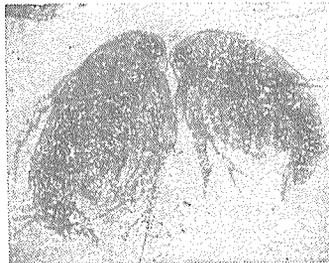
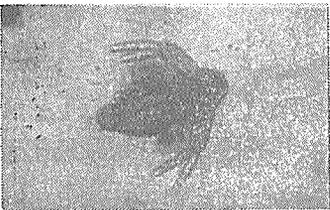
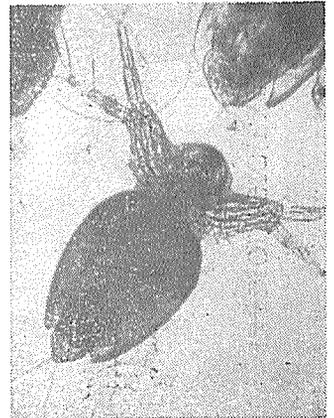
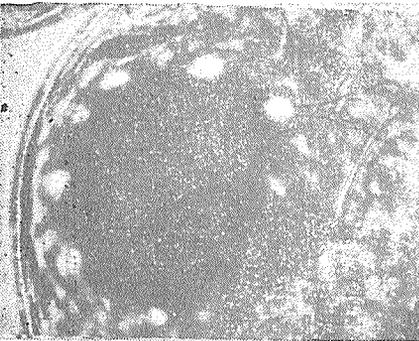
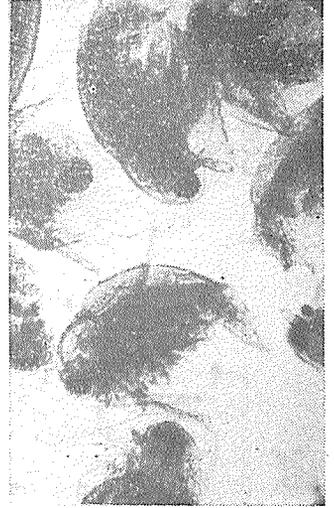
- A-Hexarthra mira, male
- B-Asplanchna priodonta, lateral view of specimen with several embryos
- C-Anuraeopsis fissa
- D-Chromogaster ovalis
- E-Synchaeta pectinata
- F-Synchaeta tremula
- G-Pompholyx sulcata, dorsal view of specimen carrying two eggs
- H-Ascomorpha ecaudis
- I-Filinia longiseta
- J-Polyarthra vulgaris
- K-Polyarthra euryptera

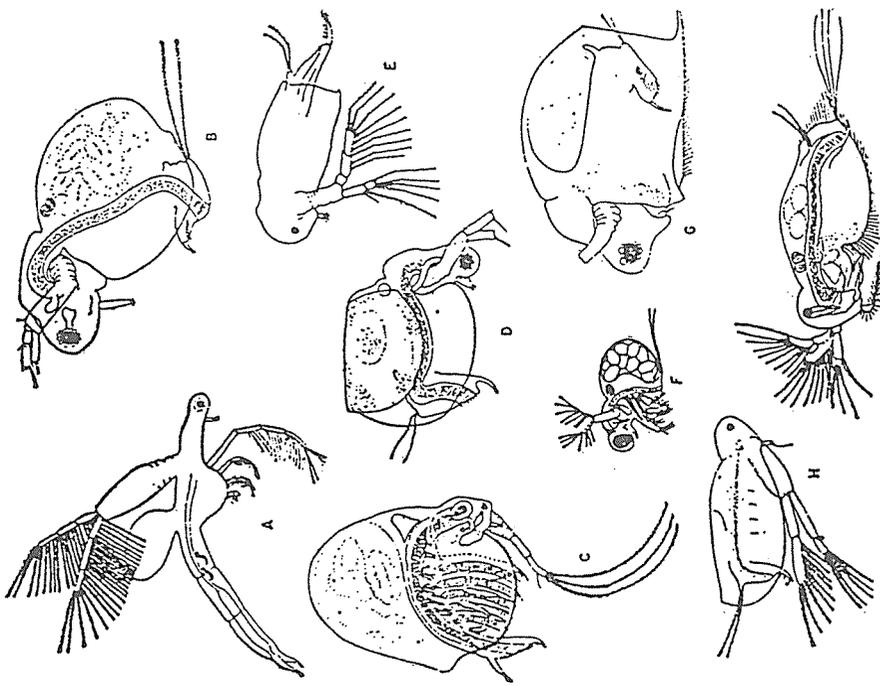
6.水蚤類

水蚤個體小於 3mm，有甲殼覆蓋身軀，頭大，有複眼一對。生殖以孤雌生殖法行之。在甲殼背內有一育兒室，其內可隱藏及保護發育中的胚體。雄性水蚤亦有季節性的出現。卵亦有少數受精者，此受精卵較大，數量較少。

水蚤的形態隨季節而改變，夏天頭部伸長，冬天頭部較小，春秋則居中，此乃因溫度及基因之關係。

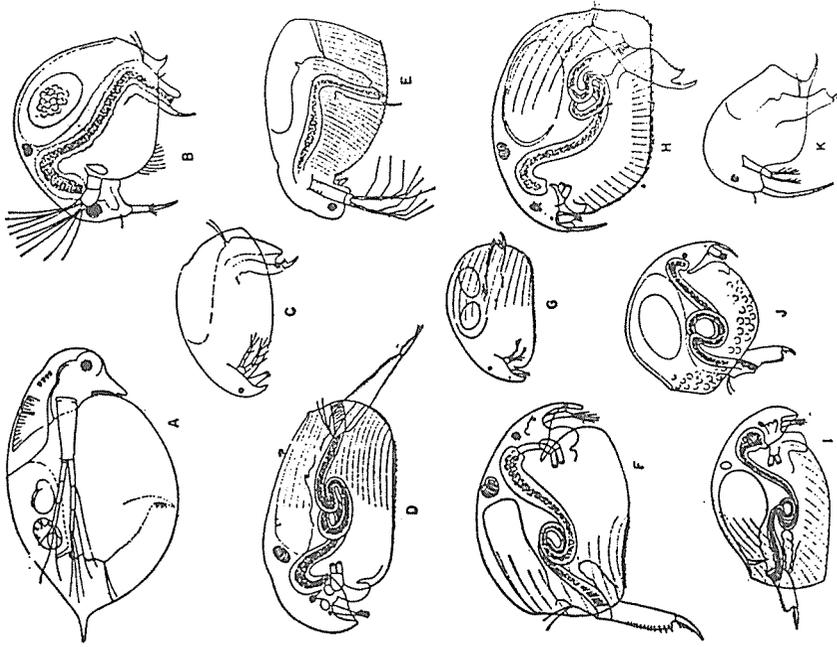
水蚤在衛工上，一般出現在含養份較高之生物處理終沉池中，以細菌、藻類、原生動物及有機腐物為食。故有水蚤出現，亦表示處理放流水水質佳。





XXVIII. Cludocerans

- A-Leptodora kindtii
 B-Moina brachiata
 C-Holopedium gibberum
 D-Ceriodaphnia reticulata
 E-Sida crystallina
 F-Polyphemus pediculus
 G-Scapholeberis sp.
 H-Diaphanosoma brachyurum
 I-Latona setifera
 J-



XXVII. Cludocerans

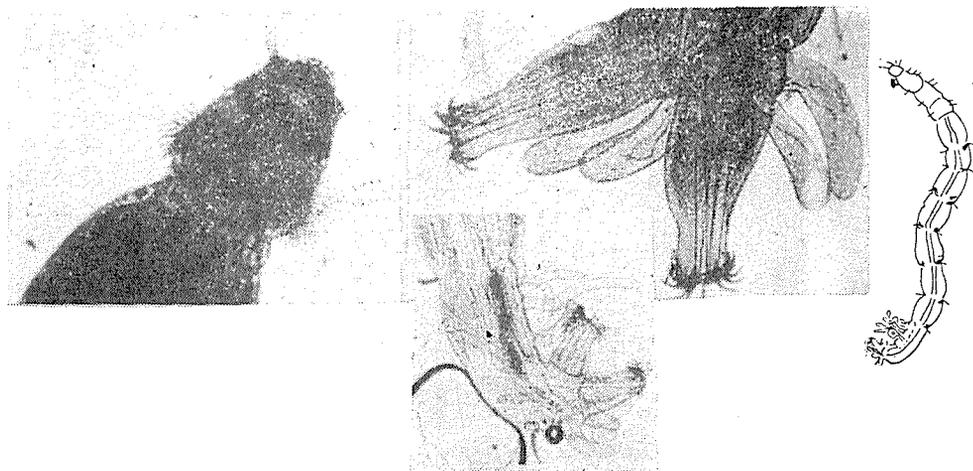
- A-Daphnia pulex
 B-Bosmina longirostris
 C-Eurycerus lamellatus
 D-Camptocercus rectirostris
 E-Sunocephalus sp.
 F-Kmzm latissima
 G-Alona sp.
 H-Pleuronus denticulatus
 I-Actopercus harpae
 J-Chydorus sphaericus
 K-Bosmina coregoni
 Chironomidae

7. 紅蟲

紅蟲 *Chironomus* sp (Blood-worms) 水雙翅類屬搖蚊科，幼蟲為淡紅色，成蟲之際為紅色，體長 2~25mm，有環節，可擺動，節上有剛毛。頭部有觸角一對，觸口周圍有短之纖毛，可用來捕食及運動，可捕食細菌、原生動物、及污泥塊，體內有條黑色食道尾部有呈放射狀之排泄肚門，具有完全之消化器官，可將污泥消化成穩定之腐植質。通常靠身體擺動而運動。

在河川自淨回後的活性分解段常可發現。在環工上之意義為可將細菌、原生動物、塊狀有機無機物消化分解為穩定之腐植質。而又可分泌一種黏液，將污泥凝聚包裹全身，而在裏面行運動、捕食作用；可增強污泥結構幫助沉降，使污泥不易上浮。

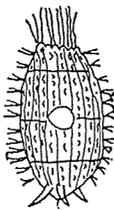
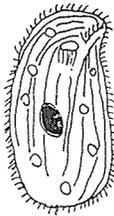
此種蟲類通常出現在生物處理廠之終沉池及排放站，有此蟲出現即表示放流水水質佳，是種低污泥水體之指標，其成蟲為俗稱草蚊者。



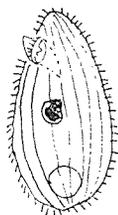
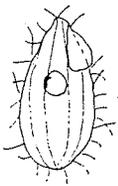
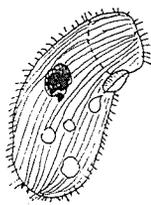
8. 原生動物與放流水水質

以目前臺灣所行之放流水標準，來看原生動物與放流水水質之關係，大可不需對原生動物的分類詳加探討，但是至少必須對網的鑑定和歸納有所認識。大抵有纖毛蟲網大量出現，則放流水 BOD 大部份皆可符合標準。但目前有許多先進國家其放流水 BOD 限值相當低，若要以原生動物來預估放流水水質則必須對原生動物分類詳加探討。而臺灣很快就會走向先進國家之列，而其所要求之放流水水質亦會更加嚴格，有鑑於此，乃就放流水水質 BOD 分為四級，即 $BOD=0\sim 10\text{mg}/\ell$, $BOD=11\sim 20\text{mg}/\ell$, $BOD=21\sim 30\text{mg}/\ell$, $BOD=30\text{mg}/\ell$ 以上四級，分別將原生動物在此四級出現率統計出，以供參考。但觀察時；並非仔細的觀察個體種類，而是要觀察整體的種類，這樣更能準確的預估放流水品質。

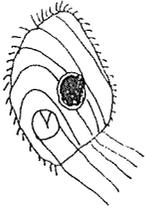
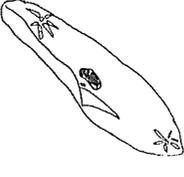
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	Colepus hirtus	90%	10%		
	Trachelophyllum pusillum	30%	30%	30%	10%
	Amphileptus claparedei	90%	10%		
	Trochilia minuta	10%	90%		
	Chilodonella cucullulus	40%	40%	10%	10%
	Chilodonella fuviatilus	20%	60%	10%	10%

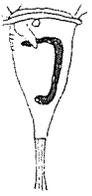
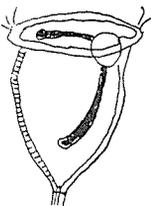
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	<i>Uronema nigricans</i>	20%	40%	40%	
	<i>Tetrahymena pyriformis</i>	10%	30%	30%	30%
	<i>Glaucoma scintillans</i>	20%	20%	30%	30%
	<i>Colpidium Campylum</i>	20%	20%	20%	40%
	<i>Colpidium colpoda</i>			40%	60%

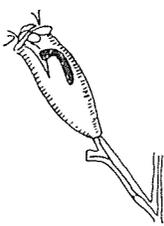
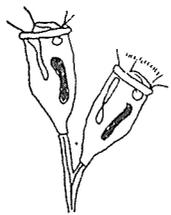
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0 ~10	11~20	21~30	>30mg/l
	<i>Cinctochilum margaritaceum</i>	70%	30%		
	<i>Paramecium aurelia</i>	90%	10%		
	<i>Paramecium caudatum</i>	20%	50%	30%	
	<i>Paramecium calkinsi</i>	30%	30%	30%	10%
	<i>Vorticella aequilata</i>	20%	20%	30%	30%

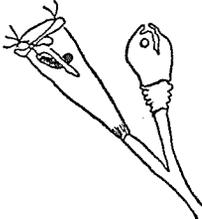
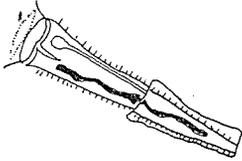
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	Vorticella convallaria	30%	40%	20%	10%
	Vorticella microstoma	20%	40%	20%	20%
	Vorticella alba	30%	30%	30%	10%
	Vorticella campanula	80%	20%		
	Vorticella fromenteli	50%	40%	10%	

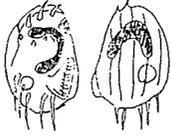
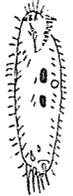
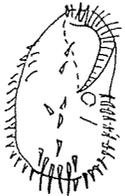
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0 ~ 10	11 ~ 20	21 ~ 30	>30mg/l
	<i>Vorticella nebulifer</i> <i>v. similis</i>	50%	50%		
	<i>Vorticella striata</i> <i>v. octara</i>	20%	30%	20%	20%
	<i>Zoothamnium</i> <i>mucedo</i>	90%	10%		
	<i>Zoothamnium</i> <i>pygmaeum</i>	90%	10%		
	<i>Epistylis rotans</i>	90%	10%		

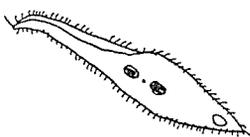
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	<i>Carchesium polypinum</i>	30%	50%	20%	
	<i>Epistylis plicatilis</i>		40%	40%	20%
	<i>Opercularia coarctata</i>	20%	20%	40%	20%
	<i>Opercularia phryganeae</i>			10%	90%
	<i>Stentor roseli</i>	90%	10%		

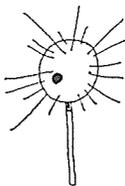
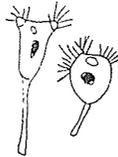
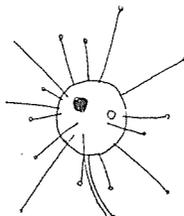
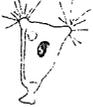
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	<i>Aspidisca costata</i>	30%	30%	20%	20%
	<i>Aspidisca lynceus</i>	50%	50%		
	<i>Aspidisca turrita</i>	90%	10%		
	<i>Opisthotricha similis</i>	90%	10%		
	<i>Tachysoma pellionella</i>	10%	90%		
	<i>Histriculus vorax</i>	80%	20%		

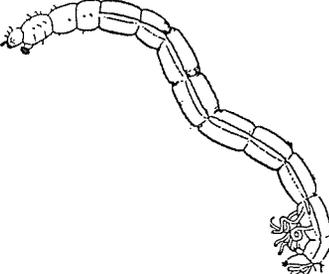
活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	<i>Euplotes affinis</i>	60%	40%		
	<i>Euplotes eurytomus</i>	20%	40%	40%	
	<i>Euplotes moebiusi</i>	30%	30%	30%	10%
	<i>Euplotes patella</i>	40%	30%	30%	
	<i>Litonotus fasciola</i>	10%	90%		
	<i>Acineta cuspidata</i>	90%	10%		

活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0~10	11~20	21~30	>30mg/l
	Acineta grandis	90%	10%		
	Acineta foetida		10%	90%	
	Podophrya fixa		20%	70%	10%
	Podophrya maupasii	10%	90%		
	Tokophrya quadripartita	40%	30%	30%	

活性污泥原生動物種類與放流水品質之關係

形 態 圖	種 類	放流水品質 BOD 與出現率%			
		0 ~10	11~20	21~30	>30mg/l
	Rotifers (Philodina rosea)	90%	10%		
	Cladocerans (Daphnia pulex)	90%	10%		
	Chironomidae	90%	10%		

活性污泥鬆化難題的指標微生物—絲狀菌

吳錫昌* 鄭育麟** 陳淑青**

一、前 言

1. 難題研討

一般而言，活性污泥鬆化現象常因污泥在二次沈澱池沈降性及壓縮性不良所引起，這種情況，常導致污泥從二次沈澱池溢流堰流失。

2. 沈降試驗

通常污泥容積指數大於150 ($SVI > 150$)，即被視為污泥鬆化現象。

3. 當我們用顯微鏡觀察活性污泥時，會發現許多擴張伸展的絲狀生物。

4. 發生鬆化可能之原因：

- 曝氣池 D.O 太低。
- 營養物 (N. P. Fe) 缺乏。
- pH 過低。
- 水溫不適。
- 有機負荷過低或過高。
- 硫化物存在。
- 油脂流入。
- 特定工業廢水。(皮革、化學、紙漿、木材、食品……等)。

5. 改善污泥鬆化的方法。

- 除去引起絲狀菌生長之因素。
- 破壞絲狀菌體。
- 修正污水廠操作狀況，阻止絲狀菌生長。
- 管制進流水質。
- 增加膠羽重量。
- 改變污水廠之設計。

6. 一般容易發生絲狀菌之廢水及絲狀菌形式。

* 安平工業區管理中心主任

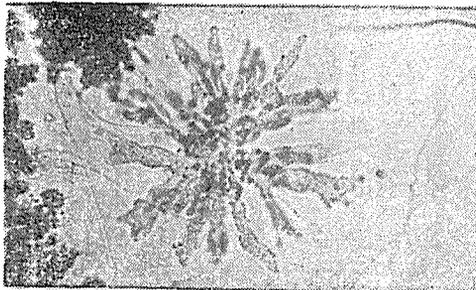
** 安平工業區管理中心化驗員

工業廢水類別	絲狀菌形式
化學	M. parvicella, 021 N, 0041, Nocardia, H hydrssis
紙漿	0092, Nocardia, 1701, H hydrossis
食品	0041, 021N, 0092, Nocardia, 1701, H hydrossis S. natans, Thiothrix, 0581
酒類	0041, 021N, 0092, 1701
牛奶	Nocardia, 0092,
肉品	1701, S. natans, 021N.
馬鈴薯	0092, 021N, S, natans, 1701
水菓	0041, N. limicola, 0092. 021N,
糖菓罐頭	021N, Nocardia, 0041, H hydrossis, 1701, 0092, S. natans.
皮革	Fungi

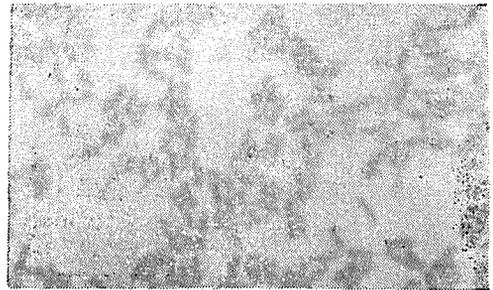
二、膠羽結構和沈降關係

活性污泥中有許多型式之細菌，能自然分裂進而和絲狀菌形成膠羽。這類細菌 (Zoog-
lea. ramigera, Pseudisms SPetc) 能分泌出多醣類 (Polysaccharides) 聚合體，作為其他
類細菌之連接物進而形成膠羽形式之結構。

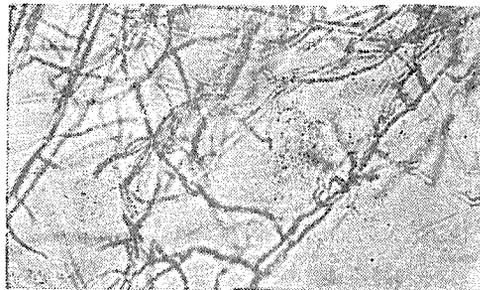
絲狀菌的絲狀構造在活性污泥沈降中互有利弊，適當絲狀菌之生長能增強膠羽結構，使
污泥沈降性變佳。但過度生長常導致污泥鬆化。



600×Zooglea. ramigera



1,500×Pseudisms

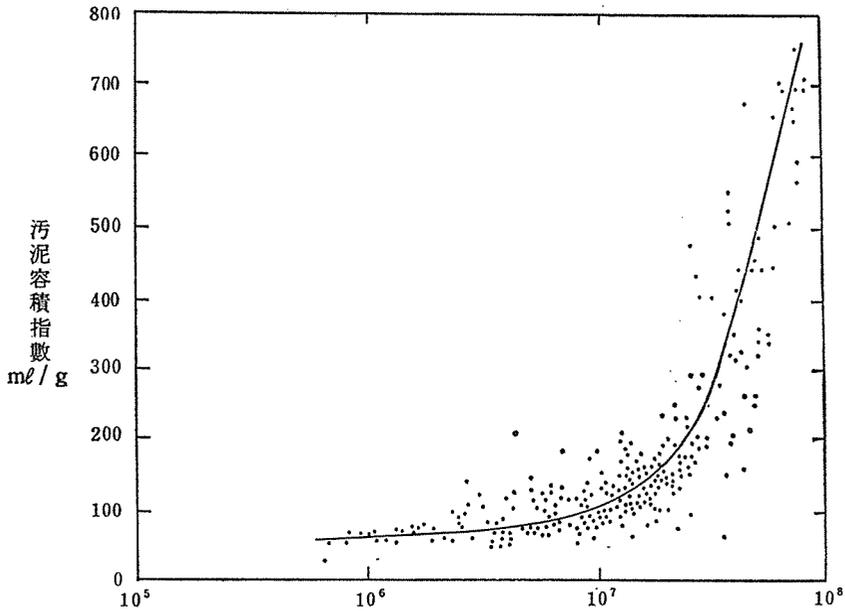


150×Fungi

三、絲狀菌菌絲長度計量和應用

膠羽中絲狀菌菌絲長度的計量，可以幫助我們判斷 SVI 和鬆化現象的關係。由圖一我們知道每毫升絲狀菌中，絲計量長度和 SVI 的關連性，絲長度約略超過 $10^7 \mu\text{m}/\text{ml}$ ，就表示污泥已經開始發生鬆化現象。所以由絲狀菌菌絲的計量，亦可作為污泥沉降特性的指標，也可作為程序控制之參考。

經由顯微鏡觀察活性污泥膠羽，吾人發現；在活性污泥羣生生物中，絲狀菌佔有相當重要之地位，因為在曝氣池保持適量的絲狀生物，將更有利於污泥膠羽之形成。



(圖一) 絲伸長總長度 $\mu\text{m}/\text{mg}$
(Pa/m, et, al, 1980)

四、絲狀菌的鑑別

吾人知道有三種方法可用來鑑別絲狀菌

證明絲狀菌的方法

方法種類	程序	證明	成功率
1.標準法	分離和檢驗	標準分類命名法 (種)	差
2.Farquhar & Boyle	形態和染色	Bergey's Manual (屬)	中間
3.Eikelboom	形態和染色	從經驗中取得 (型號)	佳

這三種方法，以 Eikelboom 較為實用，成功率亦最高。如用標準法因以往對於絲狀生物分類做得太少，沒有太多資料可比照，且於實驗室中，經由培養基培養出來之絲狀菌與現場操作之種類是否吻合，亦令人懷疑。Frarquhar & Boyle 法於確認上較 Eikelboom 法困難，且亦難與 Bergey's manual 分類法相對照，使我們無法確認歸於那一屬而模擬兩可，且分類出來實用性可靠性不佳。如用 Eikelboom 法，則無上述兩種方法之困擾，它是以實際操作情況和絲狀菌之形態、特徵、染色做比照。它的優點有：

- ①可以在短時間內完成鑑定工作。
- ②可完整地包含所有在這段時間之操作狀況。（因絲狀菌不是突然發生的）。
- ③可靠性高，因採樣、計算不影響誤差。
- ④可以做單獨之觀察，或多水樣觀察，並可依照日常操作情形、廢水特性作比照，而決定操作程序。

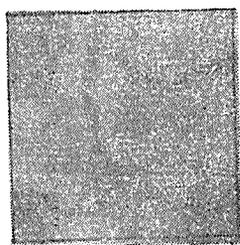
缺點有：

- ①需要一段時間訓練學習位相差顯微鏡之操作技巧。

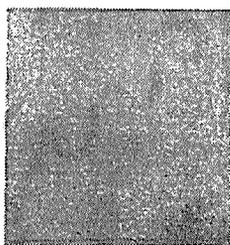
Eikelboom 法是用低倍數顯微鏡觀察膠羽型式，原生動物。再利用高倍數位相差顯微鏡觀察絲狀生物；觀察它的形態及特有存在之特徵；如直徑、長度、形狀、顏色、位置、分枝情形、滑動性、鞘、接觸核、單細胞、硫粒體、包涵體及交叉壁等。然後再利用格蘭姆（Gram）染色或納氏（Neisser）染色。將結果和實際操作情況配合，再和 Eikelboom 的報告比照——特性、型號、說明及攝影……等。

此法樣本整理和運送是容易的，因實際需要分析的樣本體積很小（約 1ml）。最先樣本不需攪動，立即做混合液沈降。樣本的取得可後曝氣池或混合槽，或其他位置如接觸穩定設備的接觸反應槽，作特別試驗時，可從泡沫、浮渣取樣。而初沈池、終沈池放流水、或其他位置，也可檢查。

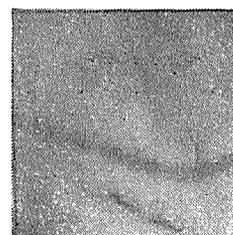
通常收集大於或等於 5ml 的樣本即已足夠。樣本在室溫下數天絲狀菌本質不變，如在冷藏狀況可達數星期。但在採樣瓶應預留適當空間，使絲狀菌更能容忍。在樣本檢驗完後，應將證明和操作狀況，水質作比照，使日後有更充份之資料供參考。



①Type1863
1,500×



②Type0092
1,500×



③Sphaerotilus natans
1,500×

絲狀菌活體染色

五、活性污泥中不同形式絲狀菌和沈降之關係

近年來有許多有系統的研究；發現有許多不同形式的絲狀菌（如表一）。而現在能被證明的絲狀菌至少有20種以上。這些絲狀生物的生長，是導致鬆化發生的原因。

表一 絲狀菌在美國、北歐污水廠出現頻率

絲 狀 菌	一般混合液出現順序樣本檢查	
	美 國 各 廠	北 歐 各 廠
type 1701	1	5
Nocardia spp	2	14
type 0041	3	6
021N	4	2
0092	5	4
<i>Haliscomenobacter hydrossis</i>	6	3
<i>sphaerotilus natans</i>	7	7
Thiothrix spp.	8	17
type 1851	9	12
Miorothrix parvicella	10	1
type 0803	11	9
type 0581	12	8
<i>Nostocoida limicola</i>	13	11
type 0961	14	—
type 1863	15	—
fungi	16	15
<i>Bacillus</i> spp	17	—
<i>Beggiatoa</i> SPP	18	16
Cyanopyta	19	13

大部份的絲狀生物不曾分類命名，只有少部份的絲狀菌被分離；及作形態和特性的描述，這是不適合於活性污泥操作指標微生物的研究，因為此種分離的方法，常導致培養的絲狀菌和實際操作狀況中的絲狀菌是否吻合的疑問？且此種分離的方法所花費的時間亦長，不合快速改變流程之原則。而現今所作的方法能被接受的原因是；將一些已被鑑定的絲狀菌資料

和實際操作相互比照。且此研究的結論大部份均能互相吻合。使我們能從鬆化的活性污泥中觀察特定的絲狀菌來推論鬆化的原因，進而給予適當的解決方法。（如表二）

表二 活性污泥鬆化現象原因及重要絲狀菌型號指標

<u>原因及狀況</u>	<u>絲狀菌型式</u>
低 F/M	<i>M. Parvicella</i> , 0041, 0675, 0092, 0581, 0961, 0803,
低 D. O	1701, <i>S. natans</i> ; possibly, 021N. and <i>Thiothrix</i> sp, 1863.
硫化物存在	<i>Thiothrix</i> sp. <i>Beggiatoa</i> sp. possibly, 021N
低 pH	Fungi
低營養物(N and/or p)	possibly, <i>Thiothrix</i> sp. 021N.

1.當曝氣池D.O濃度低時 Type1701, *S. natans*, 和 possibly type021N 佔優勢生長而造成鬆化現象。

2.當有機負荷低時，*M. Parvic ella*, type0041,0961,0903,0675和0092 佔優勢生長，亦有鬆化現象發生。

3.在不適當的營養物 (N. P 缺乏) 情況下，Type 021N和*Thiothrix* spp 佔優勢生長，亦有鬆化現象發生。

4.在污水處理槽硫化物高時，*Thiothrix* spp和*Beggiatou* spp 佔優勢生長，亦有鬆化現象發生。

茲就上述各點分述如下：

1.膠羽形式細菌和絲狀菌之間的生長競爭

有兩種膠羽形式在活性污泥中緩慢生長。一為典型膠羽形式膠羽，其生長速率 (μ_{max}) 在 $1\sim 2\text{day}^{-1}$ 。而另一為絲狀膠羽形式其生長速率為 $1\sim 6.5\text{day}^{-1}$ 。（詳見表三）此兩種膠羽的生長競爭，可影響活性污泥之沈降性和壓密性。

通常膠羽在不同環境下，會改變其生長速率。我們從圖二可以知道：在一簡易單一基質情況下，控制典型膠羽和絲狀菌的生長速率，當絲狀細菌生長速率超越膠團桿菌生長速率時，將發生鬆化現象。

觀察圖二；B區顯示是膠團桿菌生長速率超越絲狀細菌，這將使活性污泥膠羽經歷針尖狀階段。於A區的情況為絲狀菌生長速率大於膠團桿菌，會導致污泥鬆化之發生。從操作經驗中，我們知道一個良好的膠羽生長情況應該是在 S.' 點附近，在此時絲狀菌生長速率比內部膠羽大，而膠團桿菌生長速率比外表膠羽大。這種膠羽沈降，是良好的，因為它基於有適量絲狀菌和膠團桿菌相互緊密連接。

表三 絲狀生物和膠羽形式最大有效生長速率
從活性污泥中孤立

I、有機物膠羽形式

生物體	$U_{max} \cdot day^{-1}$	生長條件
PC ₅ (Arthrobactor sp)	1-2	1
PC ₁ (Unidentified)	1-2	1
FF ₂₉ (Unidentified)	2-3	2
PA ₃ (Pseudomonas s.p)	3	1
FF ₄₀ (Unidentified)	4	2
FF ₃₅ (Unidentified)	4.3	2
FD ₄ (Citromonas. sp)	9.5	2

II、絲狀生物

生物體	$U_{max} \cdot day^{-1}$	生長條件
Nocardia sp	0.5	3
M.parvicella	<1	4
Type 0041	<1	1
Type 0961	<1	1
H hydrossia	1.3	2
Thiothrix sp	1-2	1
Type 1701	2.6	2
Type 021N	3-4	5
S. natans	6.5	2

- 1.Chenostat ; 葡萄糖—氨水—碳酸鹽26°C
- 2.Chenostat ; 葡萄糖—氨水—碳酸鹽20°C
- 3.Chenostat ; 葡萄糖—asparagine—碳酸鹽28°C
- 4.batch ; 兩者80—消化蛋白質—碳酸鹽25°C
- 5.Chemostat ; 乳酸鹽—氨水—碳酸鹽26°C

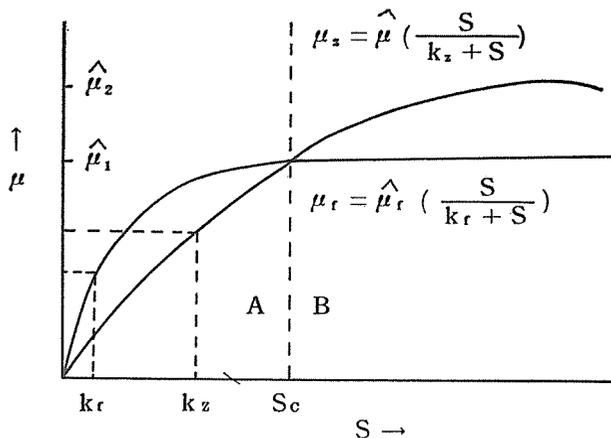


圖 二

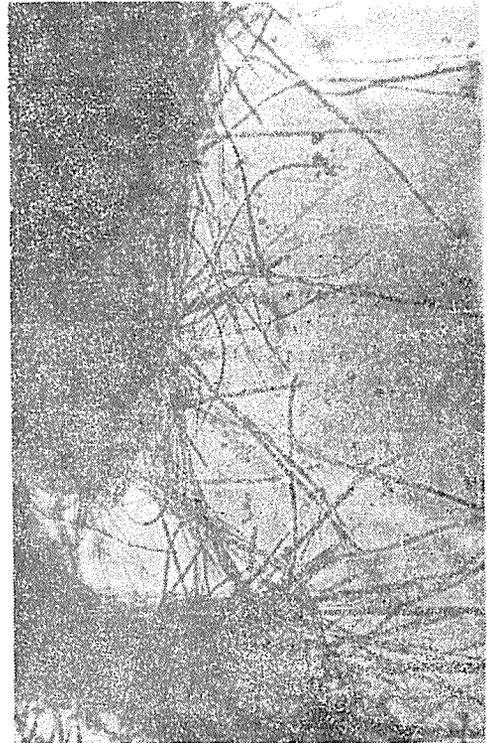
S_c = 臨界基質濃度
區域A: $\mu_r > \mu_2$

μ_r = 絲狀菌生長速率
區域B: $\mu_r < \mu_2$

μ_2 = 膠團細菌生長速率



正常膠羽



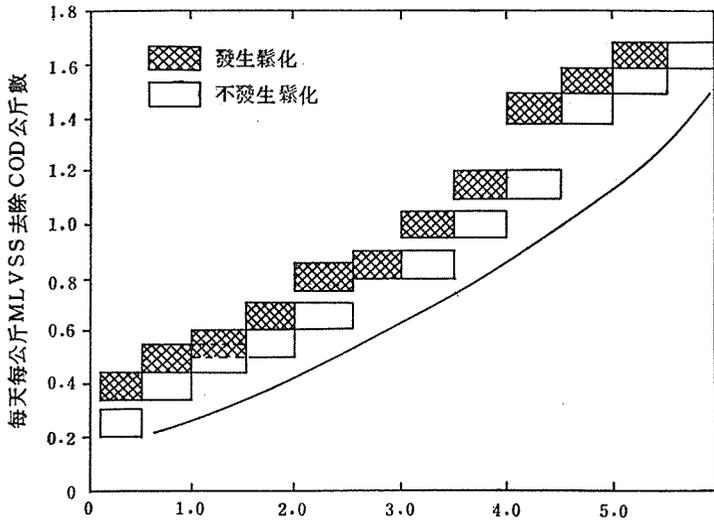
絲狀菌過度生長膠羽

2. 低溶氧引起的鬆化現象

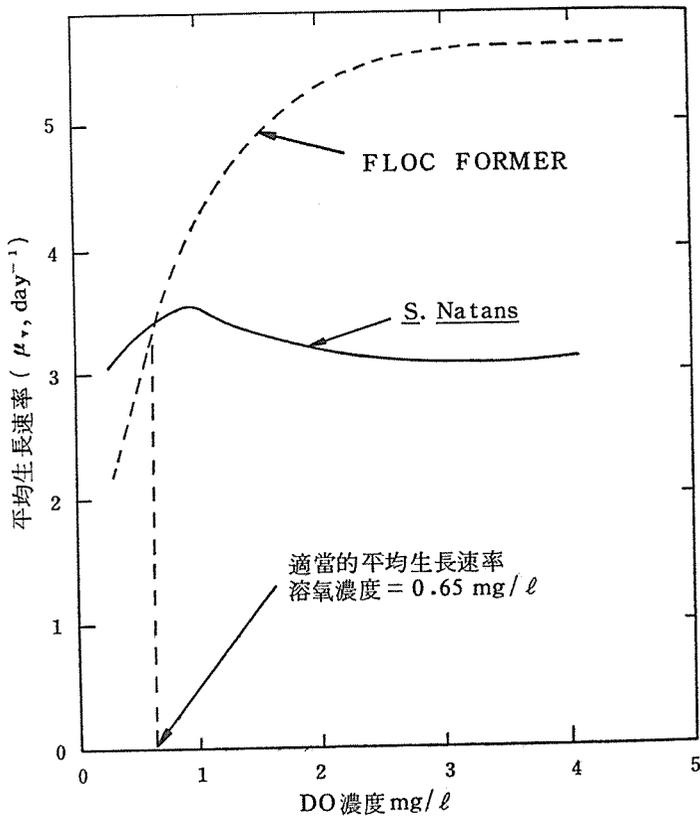
在溶氧低的曝氣池中 ($D.O=0.1\sim 2.0\text{mg}/\ell$)，因活性污泥膠羽內部溶氧濃度不足，導致絲狀菌的生長競爭超越正常膠羽，使污泥發生鬆化。

我們可用家庭污水，保持在相同的負荷下，不斷的連續進水，當我們降低曝氣池 $D.O$ 濃度時，將會發現絲狀菌佔優勢生長，這使我們證明部份絲狀菌的過度生長是由於不適當的 $D.O$ 所引起。這實驗使我們知道有機負荷、基質濃度改變均會影響 $D.O$ 的大小，而控制 $D.O$ 濃度，是防止絲狀生物過度生長的因素。就曝氣池而言 $D.O$ 濃度 $1\sim 2\text{mg}/\ell$ 是一個限值，在此範圍內 $C.O.D$ 去除效果約為 $0.25\sim 0.45\text{kg COD}/\text{kg VSS}/\text{day}$ 。但在生物化學理論中，高的有機負荷需要較高的 $D.O$ 濃度，使有機體膠羽內部有充夠的 $D.O$ ，用來完成增長作用。(如圖三)

近年來研究發現，引起低溶氧鬆化現象的絲狀菌有；1701, *S. natans*, possibly, 021N, 1863和 *Thiothrix sp.* Lau et al (1984) 在活性污泥膠羽中研究 *S. natans* 和典型膠羽的生長競爭。在模擬實驗中，設定葡萄糖濃度 $20\text{mg}/\ell$ ，來預測 *S. natans* 和典型膠羽的沉降效果。控制適當的生長速率，直徑 $200\mu\text{m}$ 的球狀膠羽，當 $D.O$ 濃度在 $0.65\text{mg}/\ell$ 以下，有利於 *S. natans* 生長，因此發生鬆化。當濃度大於 $0.65\text{mg}/\ell$ ，將有利於典型膠羽的生長，所以有一個良好的沉降污泥。(圖四)

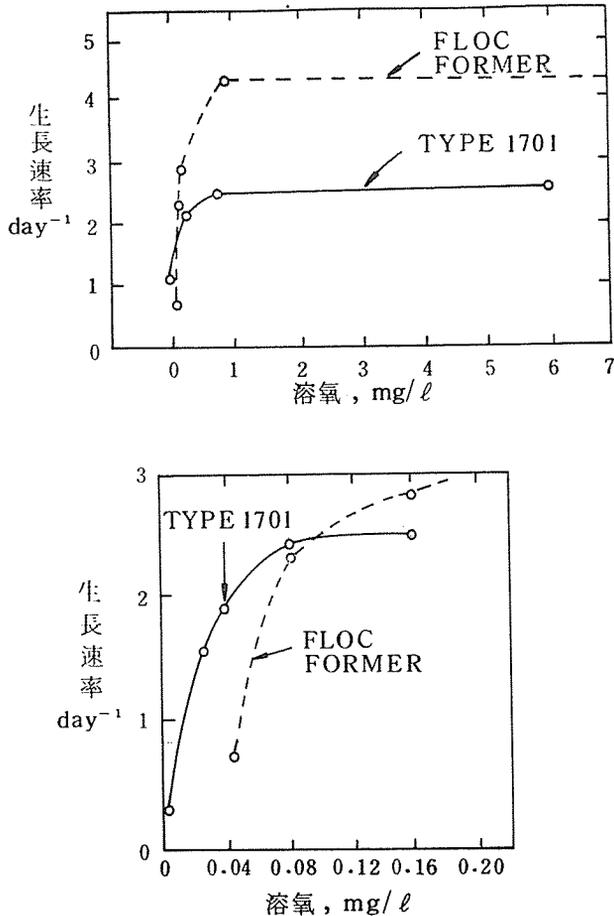


圖三 曝氣池 D.O.m/l



圖四 在葡萄糖濃度 20mg/l 及不同 D. O 濃度的水溶液中，直徑 200 μ m 的球形膠羽中，S. natans 和 Floc-Former 約平均生長速率 (Lau, et al., 1980)

此外Hao et al (1982) 也曾用類似的模式，以 type 1701 和典型膠羽作生長競爭。當 type 1701 在 20°C 時生長速率控制在 4.3day⁻¹ 時，其攝氧率在 0.014mg/ℓ。而典型膠羽在 20°C 時，生長速率在 4.3day⁻¹ 時，攝氧率為 0.073mg/ℓ。這實驗說明了在相同條件下，相同的生長速率，典型膠羽的需氧量將較 type1701 的需氧量大。這更能證明鬆化原因是由低 D. O 所引起。(圖五)



圖五 在不同溶氧情況下，Type 1701 和膠羽形式的生長速率

若用相同的方法，type 1701 和典型膠羽作生長競爭。當 D. O 濃度在 0.9mg/ℓ 時，將使 type 1701 和典型膠羽的生長速率相等，此時膠羽球形直徑在 100μm。當 D. O 濃度小於 0.9mg/ℓ 時，適合 type 1701 生長，而 D. O 濃度大於 0.9mg/ℓ 時，適合於典型膠羽之生長。(圖六) 在這個實驗中，我們也可從膠羽直徑大小，預測佔優勢的膠羽形式。當 type 1701 是佔優勢時，膠羽直徑會比較大。若典型膠羽佔優勢，則膠羽直徑會變小。(圖七)

從這一連串的研究中，我們更能印證鬆化是由低 D. O 濃度所引起。

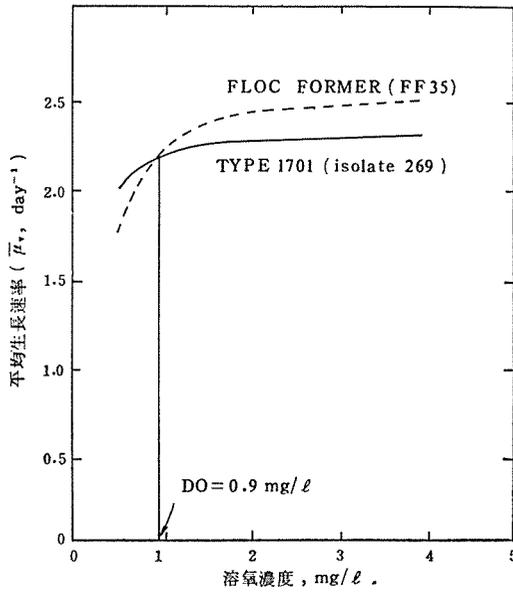


圖 六

在各種不同 D. O 濃度中，TYPE1701 及 FLOC FORMER 的平均生長速率。葡萄糖濃度為 20mg/l；球形膠羽直徑為 100 μ m。

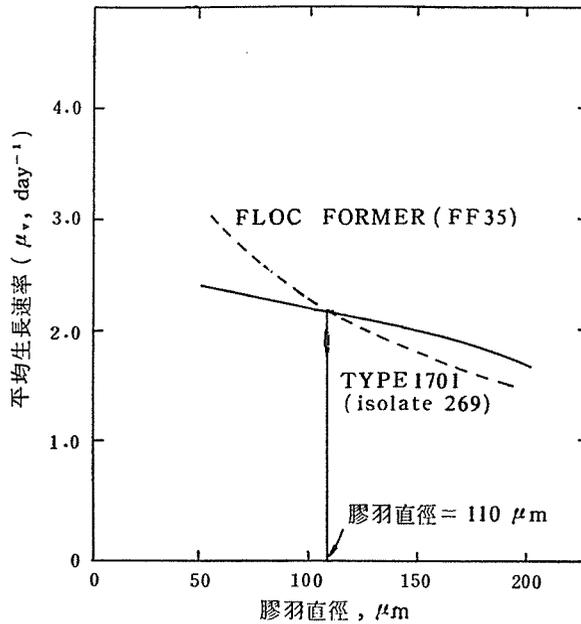
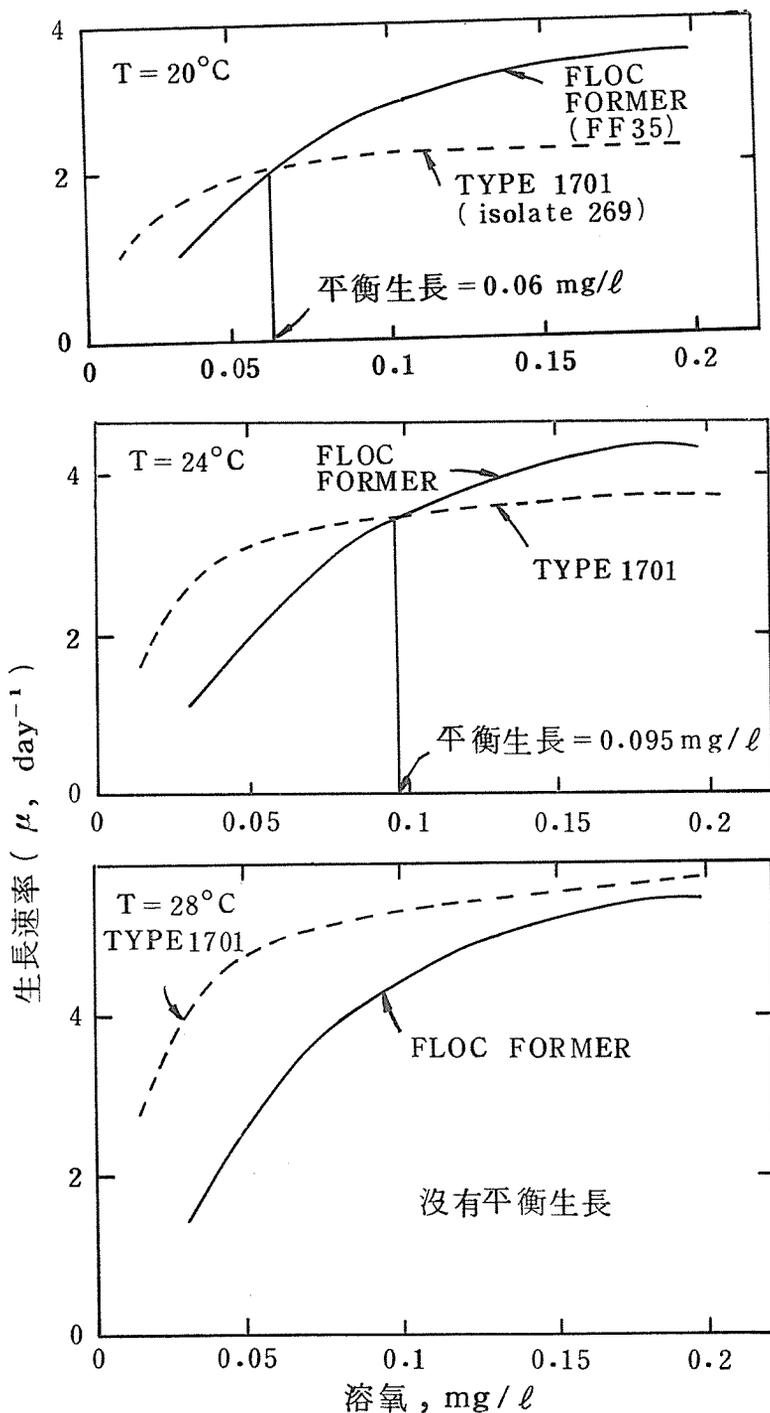


圖 七

在各種膠羽直徑，TYPE1701 和 FLOC FORMER 的平均生長速率；葡萄糖濃度 = 20mg/l。(Hao, 1982)

溫度在低 D. O 鬆化現象中也是重要因素。分別將 TYPE1701 和膠羽形式在低 D. O 濃度相同的環境中作生長競爭，結果發現 Tpye1701 通常需要較高的能量 ($\mu_{max}/19Kcal/mole$)。從不同溫度 20°C, 24°C, 28°C，結果在 28°C 時，Tpye1701將佔優勢生長。(參見圖八)



圖八 不同溫度下，TYPE1701 和 FLOC FORMER 之生長競爭

現在我們對低 D. O 所以起的鬆化現象已有一些概念，所以我們必須設法來改善此一問題。我們可以增大 D. O 濃度或降低有機負荷。或是有效的利用 D. O 和 F/M 結合，在曝氣池作適度的調整，使 D. O 濃度和 F/M 值維持在適當的範圍內，將可防止鬆化現象之發生。

3. 缺乏營養物所引起之鬆化現象

不充足的營養物 (N. P. Fe)，也是導致活性污泥鬆化現象的原因。因為菌類形成細胞質所需之氮量僅為細菌所需之半，因此在缺氮環境下菌類比細菌來得佔優勢。另外 C/N 比值相距太大，或 N/P 比值在15以上，亦是引起鬆化現象的原因，這不難從一些排放高糖份廢水的罐頭食品廠發現。通常引起這類鬆化現象的絲狀菌有021N 和 Possibly *Thiothrix*。

營養物不足所引起之鬆化現象，可添加適度的營養物來改善。通常 BOD:N:P:Fe=100:5:1:0.5。

4. 低 F/M 所引起的鬆化現象

鬆化發生在高的 F/M (低 D. O) 或營養物不足的情況，改善的方法是增加曝氣池 D.O，降低 F/M 及添加營養物。所以，在改善低 F/M 所引起的鬆化現象無可置疑的是增高 F/M。但問題在 F/M 一直不能提高，這可能是過份曝氣導致硝化作用或是進水基質濃度太低所致。這個我們可以用人造污水，或引進承受水體較高基質之廢水來改善。有許多絲狀生物被發現在低 F/M 所引起之鬆化現象；Mparricella, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961 和 0803。

5. 絲狀生物所引起的泡沫問題

這種發泡現象和絲狀生物 *Nocardia* 之存在有關連。所以必須研究通用法則，來決定這些如絲生物的生化特性。有許多研究者從泡沫中檢查好氧性生物污泥，結果從泡沫中分離生長出 *Nocardia*, principally, *N. amarae*。

許多研究者提議，非常重要的一點就是不要使廢棄的脂肪，油脂外漏，如果設備設計許可油脂混合進入曝氣池，將助長 *Nocardia* 之生長。*Nocardia* 是一種短而如絲生物，有能力積蓄油脂。

Nocardia 細胞分枝密集，是它的特性，這有助於它的選擇，使油脂陷入，引導極小量的混合液進入形成堅定的泡沫。此外 *Nocardia* 有一低的生長速率，在 28°C 葡萄糖洋菜碳酸鹽培養基下培養，它的最大生長速率是 $0.5 \mu \text{max} \cdot \text{day}^{-1}$ 。

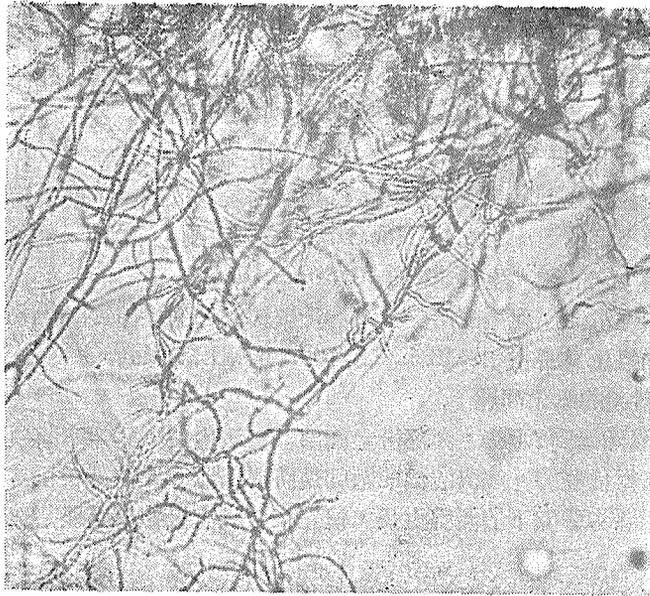
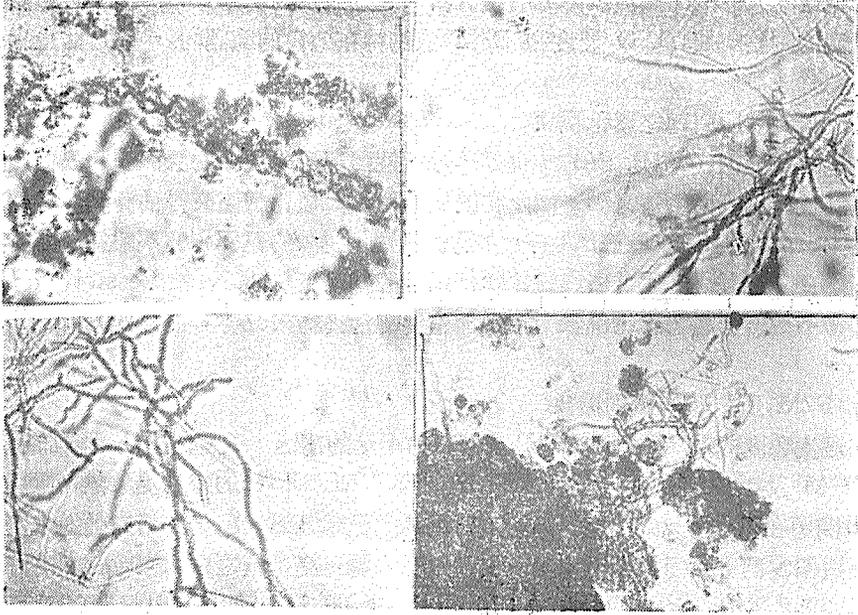
我們可以在活性污泥處理系統用加氯來淘汰破壞如絲的細菌 *Nocardia*，來控制其所引起之泡沫問題。加氯量通常在 2~15 lb Cl₂/1000 lb MLSS/day。

6. 低 pH 所引起的鬆化問題

當曝氣池之 pH 降低到 4.5 時，大部份之細菌皆無法生長，而留下菌類生存，故此等菌類生存情形比細菌來得佔優勢。解決這個難題就是將曝氣池 pH 控制在正常之下。

但因菌類能在惡劣環境下佔優勢生長，使它在合成有機物與處理某些特殊工業廢水上扮演著很重要角色。

本廠化驗室所產生之 C. O. D 廢液經去除銀、汞之後，再利用絲狀菌來作生物處理。生長絲狀菌如相片，而生長之環境為葡萄糖、乳糖、鐵濃度數百 mg/l, pH 為 1.0~1.5 及一些甚微之毒性金屬之水溶液。放流水再經本廠活性污泥處理。



顯微鏡照相 (150 \times) 相片實際倍數不是 (150 \times)。(安平76.3.4)

六、解決活性污泥鬆化的難題

我們可從鑑定比較20種絲狀菌，然後判斷發生鬆化的原因，再以化驗分析確定發生原因。依照原因調整供氧量，pH 值，F/M 值，及添加營養物。當然在進行改正這段過渡時期我們可配合加 H_2O_2 (9-400mg/ ℓ), Cl_2 (2~15g Cl_2 /kg MLSS/day) 來破壞絲狀體，或添加無機性混凝劑，增加污泥在二次沈澱池之沈降性。另外我們亦可採用間隔式曝氣系統，或在曝氣系統加入缺氧段。甚至可以改變污水廠之設計，來解決這個難題。

七、絲狀菌的特徵證明及在活性污泥控制的應用

絲狀菌特徵證明，所使用的方法及工具我們就不再討論，但對於所求出之結果。必須有一個客觀性，也就是研究者以同樣的方法觀察同樣的對象，必須得到同樣的結果。另外還必須具備經驗性；也就是推論的依據必須來自自有系統、可控制的研究過程。因此，有系統與經驗性的實不可分。經驗性的科學研究不僅指以可觀察的事實作基礎即已足夠。對於「事實」的觀察，尚須在一定的架構之下進行。所以在研究絲狀菌指標，必須具備客觀性和經驗性，才能發展出有系統的理論，而理論不只要能解釋現象，並且要在科學研究的過程中，引導研究。

現在我們就針對已被證明有代表性特徵的絲狀菌，列出明細表，(表四)及相片(如後)供各位參考，使我們在證明研究時，有一個客觀性的參考，然後再依經驗比照證明結果。或許表中所列的絲狀菌形式還不夠多，但我們可依照觀察得到的特性，作詳細記錄，自己給予型號，再依經驗性所得描述解釋理論，這樣將使我們在作這一方面的研究工作有所進步。

參考文獻

- Antonio O. Lau Sludge settleability problems in the activated sludge process
Dhaliwal, B.S. "Nocardia amarae and activated sludge foaming", Journal
WPCF, 51, 344 (1979).
- Eikelboom, D.H "Filamentous organisms observed in activated sludge," Water
Research, 9,365~88(1975)
- Strom, P.E and D. Jenkins," Identification and significance of filamentous
microorganisms in activated sludge". may 1984.

絲狀菌的形式及有代表性的特徵

樣本 No.	直徑* (μm)	絲			存			在			細胞		納氏
		長度 b	形狀 c	位置 D	分枝 e	滑動性	鞘	接觸細胞核	硫粒體	包涵物	交叉壁	形狀 (f)	
1701	0.7	m	b	p	-	-	+	+	-	+	+	o*	-
Nocardia spp.	0.7	s	b	p	t*	-	-	-	-	-	-	-	+
0041	1.4	l	b	p	-	-	+	-	-	-	-	r*	g
021 N ^{h*}	1.2-2	l	b,c	p	-	-	-	-	-	-	-	v*	+
0092	0.6	s,m	b	p	-	-	-	-	-	-	-	r	-
H. hydrossis	0.4	s	st*	p	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S. natans	1.0	l	b	p	f*	-	-	-	-	-	-	o	-
M. parvicella	0.6	m,l	c*	p	-	-	-	-	-	-	-	-	+
0581	0.5	s,m	c*	p	-	-	-	-	-	-	-	-	+
1851	0.7	m	b	p	-	-	+	-	-	-	-	r,o	-
1863	1.0	s	b	p	f*	-	-	-	-	-	-	s,o*	-
Thiothrix spp.	0.9-1.3	s,m	st,b	p,f	-	-	-	-	+	-	-	r	-
0803	0.8	s	b	p	f,p*	-	-	-	-	+	-	r*	-
N. limicola	1.1	m	c*	p	-	-	-	-	-	-	-	d,s,o*	g
0961 ^{h*}	1.0	m	b	p	-	-	-	-	-	-	-	r*	-
1702	0.5	s,m	b	p	-	-	+	-	-	-	-	-	+
Bacillus sp. ^{j*}	1.0	m	b	p	-	-	-	-	-	-	-	r	-
Fungi	2-10	m,l	b	p	t*	-	-	-	-	-	-	o	-
Beggiatoa sp.	2	l	b	p	f*	-	-	-	+	-	-	r,b	na
Oscillatoria sp. ^{k*}	6	l	b	p	f*	-	-	-	-	-	-	r	-
Saprospira sp.	1	0.8	s	p*	f*	-	-	-	-	-	-	r	na

a+ = 存在的特徵或 + 染色
 b_s = 50 μm
 st = 直鏈狀
 d = 圓盤狀
 h = 典型的桿狀，從大的直徑慢慢變細
 l = 假殼
 - = 缺乏特徵或 - 染色
 m = 100 μm
 dt = 自由上浮
 o = 橢圓形
 i = 透明細胞
 ± = 特徵微弱或染色不明
 l ≥ 200 μm (大約)
 p = 凸出
 r = 似蛇形
 ? = 不明顯
 c_s = 纖弱彎曲狀
 e_t = 真實的
 s = 球狀形
 j = 有時有明顯內孔
 n_s = 不適用
 c = 螺旋攀升狀
 f = 不實的
 v = 無定形
 * = 特徵證明
 sp = 螺旋漸小狀
 f_b = 大量
 g_e = 正染色粒
 k = 葉綠體

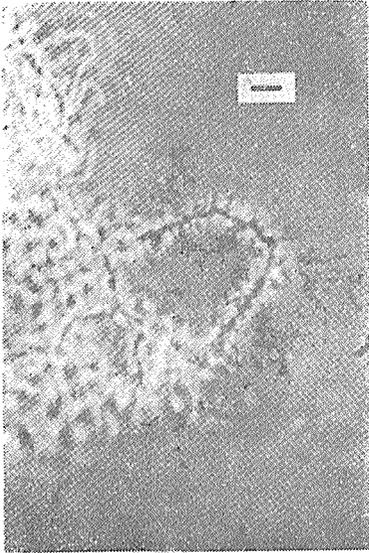


Figure 1—Type 1701 with attached unicells. Wet mount, phase contrast, 1000 \times . (NOTE: Magnifications stated here and for all other figure legends are those used to take photos, not final magnification.) Bar=5 μ m in all figures

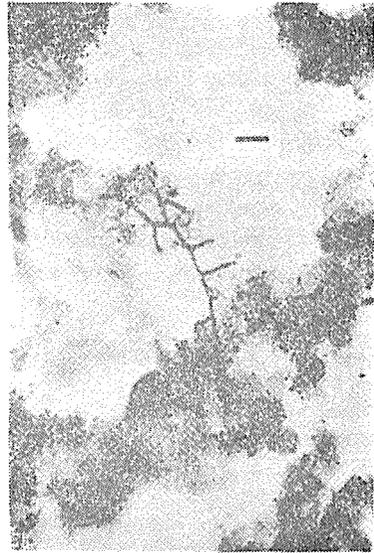


Figure 2—*Nocardia* sp. Gram stain, 1000 \times .



Figure 3—*Nocardia* sp., within floc. Gram stain, 1000 \times .

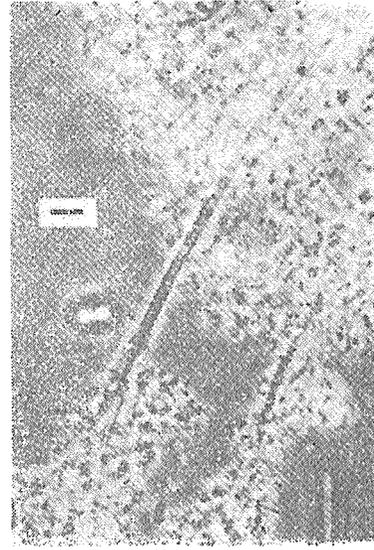


Figure 4—Type 0041, showing rectangular cell shape. Wet mount, phase contrast, 1000 \times .

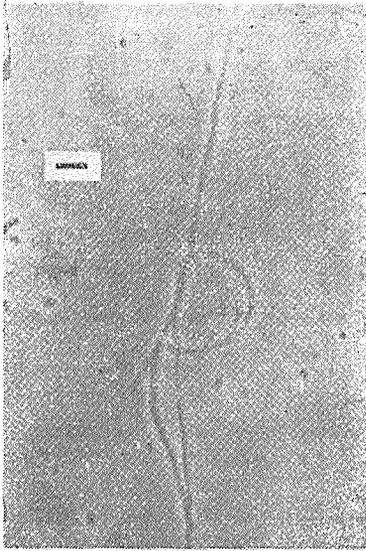


Figure 13—Type 0581, curled and coiled filaments. Wet mount, phase contrast, 1000 \times .

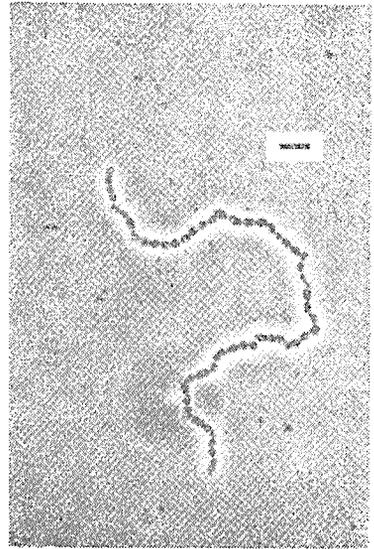


Figure 14—Type 1863, "beads on a string." Wet mount, phase contrast, 1000 \times .

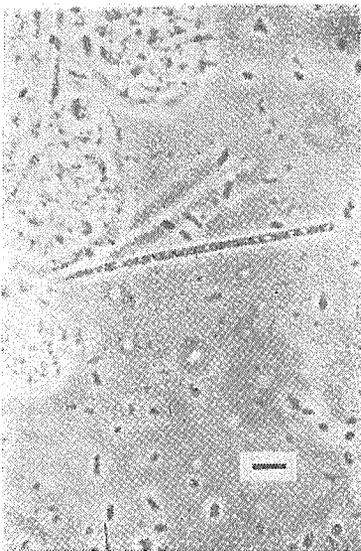


Figure 15—*Thiothrix* sp. with sulfur granules. Wet mount, phase contrast, 1000 \times .

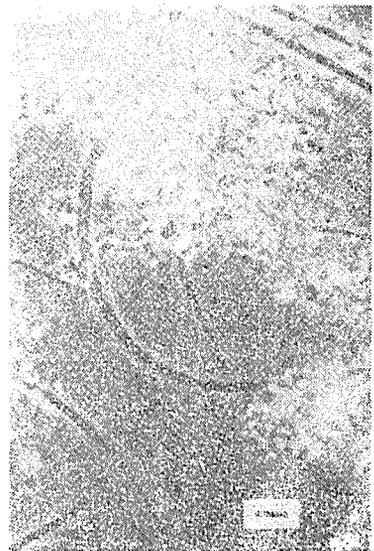


Figure 16—Type 0961, transparent rectangular cells. Wet mount, phase contrast, 1000 \times .

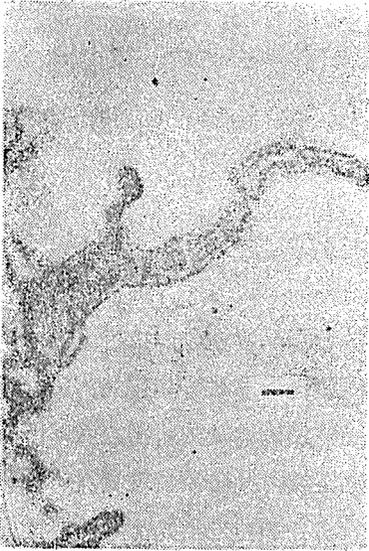


Figure 17—Fungus, large cells, true branching. Wet mount, bright field, 1000×.

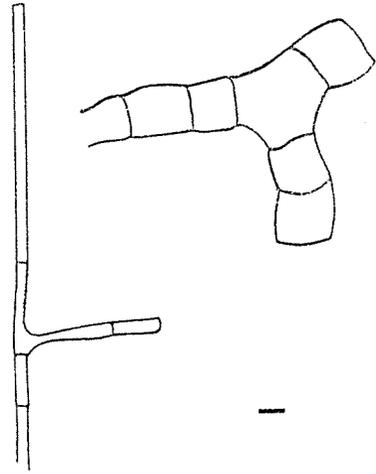


Figure 18—Fungi, large cells and true branching(Sketch).





經濟部工業局

台北市信義路三段 41-3 號

電話：(02) 2754-1255

傳真：(02) 2704-3753

<http://www.moeaidb.gov.tw>

GPN:008344890199