廢（污）水生物處理技術原理與實務練習題（甲乙級）

壹、前言

1.1 有機性廢水特性及處理原則

1. 有機性廢水的特性及主要處理程序是什麼？

   解答：廢水特性為含有機性懸浮固體、油脂、溶解性天然有機物等，幾乎不含人工化學藥品。主要廢水處理程序依序為：攔污、調整、沉澱或浮除、生物處理（厭氧串聯好氧，或單獨好氧）、終沉等，一般採二級處理程序即可達放流水標準。

貳、生物處理原理

2.1 處理程序分類

2. 好氧性處理的基本反應過程是什麼？

   解答：在廢水之好氧性處理中，廢水中之有機物（包括碳水化合物、蛋白質、脂肪等）被好氧性微生物分解成穩定物質。反應過程為：

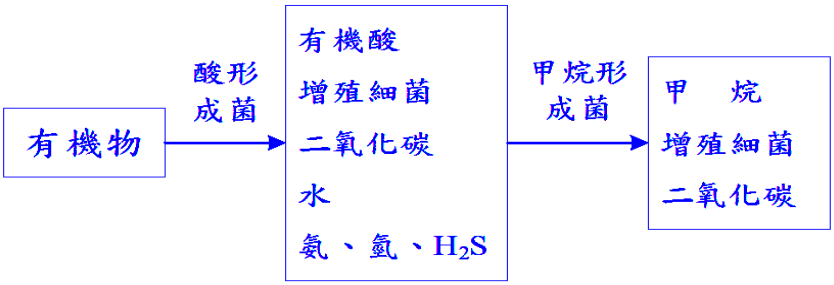
$$\text{有機物+微生物+氧} \xrightarrow{\text{酵素}} \text{增殖生物(細胞)+二氧化碳+水+硝酸鹽+硫酸鹽}$$

3. 兼氧性處理的過程，微生物將有機碳轉換為什麼產物？

   解答：兼性厭氧微生物 (Facultative Anaerobic Microorganism) 可生長於有氧中，也可生長於無氧狀態。其可利用氧氣來產生能量，也可在無氧狀態下行發酵 (Fermentation) 作用來獲得能量，如酵母菌 (Yeast)、大腸桿菌等。例如大腸菌在有氧環境下可將葡萄糖分解為 CO_2 及水；而在無氧環境下則可將葡萄糖發酵為 CO_2 及有機酸。

4. 厭氧性處理的過程分為哪兩個階段？

   解答：利用微生物在厭氧情況下分解廢水中有機物，產生甲烷、二氧化碳、氨及硫化氫等，最後並殘留不被分解的有機物如腐植質，或比較穩定的物質。在此情況下，有機物之穩定化係由酸形成菌及甲烷形成菌分兩階段完成之，反應過程為：



5. 懸浮生長式生物處理的形式依照氧氣的需求分為哪兩大類？
解答：活性污泥法、厭氧接觸法。

6. 附著生長式生物處理的特點及例子是什麼？
解答：用來分解廢水中有機物或其他污染物質的微生物，在反應槽中附著於惰性介質上，如板盤、條棒、礫石或特殊設計的塑膠物等之生物處理程序，又稱生物膜式，如生物圓盤法、滴濾池法、接觸曝氣法。

7. 好氧處理與厭氧處理在能源使用上的主要差異是什麼？
解答：好氧處理需高能源耗用，需曝氣。厭氧處理能源耗用較低，僅需幫浦或攪拌動力用電。

8. 為達良好生物處理效果，有賴於哪些因素？
解答：1. 選擇適當的方法。
2. 設計合理的處理設施。
3. 掌握生物動力參數值。
4. 維持良好的生物生長環境。
5. 熟悉處理程序控制技術。

2.2 微生物種類與生長環境

9. 微生物生長過程的 4 個階段是什麼？
解答：1. 遲滯期：此時大部分之菌體都在進行 DNA 之複製和蛋白質之合成，使細胞質量增加並做好分裂前之準備，細胞數尚未增加。
2. 加速/對數生長期：在此時，大部分之菌體都已做好分裂之準備，開始進行分裂，因此菌數成快速且呈對數增加之情形。
3. 減率生長/穩定期：包括靜止期，此階段進行菌體分裂增殖之速率減緩，大部分之菌體為維持本身之新陳代謝而停止分裂，或進一步與死亡之菌體數目達成一平衡，故整體看來，菌數形成停滯不變的狀態。
4. 內呼吸/死亡期：當環境變成對菌體有害，例如基質或養分用盡，或因菌體本身之內呼吸代謝而使環境出現毒素時，菌體便會大量死亡，菌數減少進入死亡期。

10. 廢水處理系統中，影響微生物生長的環境因子有哪些？
解答：溫度、pH 值、毒性物質、溶氧、養分、其他因子。

參、生物處理技術原理與實務

3.1 好氧生物處理程序

11. 在活性污泥系統中，食物/微生物比 (F/M) 是什麼？
解答：F/M 為每日流入曝氣槽內的有機物質量與曝氣槽內污泥質量的比值。

12. 什麼是污泥齡？
解答：係微生物（污泥）在活性污泥系統之平均停留時間。

13. 如何計算污泥體積指數 (SVI)？
解答：SVI 為量測污泥沉降性之重要參數。自曝氣槽取出混合懸浮液倒入 1 公升量筒中靜置 30 分鐘，量測污泥量容積，即得靜置 30 分鐘活性污泥的沉降體積 (SV_{30})，再計算 1 克乾活性污泥所占容積 (mL)。

14. 污泥體積指數 (SVI) 的用途是什麼？
解答：若 SVI 太大，表示污泥之沉降性及濃縮性不佳，會增加終沉池流出水之懸浮固體量，減低處理效果，且增加迴流污泥量；若 SVI 太小，則表示污泥太過緊密 (Compact)，可能為污泥結塊或其中含太高比例之無機污泥，易造成排泥困難及阻塞污泥管線。

15. 一廢水廠平均進流水量為 3,000 m^3/day，進流入曝氣槽廢水平均 BOD_5 為 250 mg/L，處理水平均 BOD_5 為 30 mg/L，每公斤 BOD_5 去除產生 0.35 kg 污泥，活性污泥曝氣槽有效容積為 700 m^3，曝氣槽污泥濃度 MLSS=3,000 mg/L，MLVSS/MLSS=0.75，SV_{30}=200 mL/L。估算 F/M、F/V、污泥齡、SVI、XR：
解答：**F/M：**

$$\frac{(Q\times BOD_5)}{(V\times MLVSS)}=\frac{(3{,}000\ m^3/day\times 0.25\ kg/m^3)}{(700\ m^3\times \frac{3\ kg}{m^3}\times 0.75)}=0.48\ kg\frac{BOD_5}{kgMLVSS\cdot day}$$

F/V：

$$\frac{(Q\times BOD_5)}{V}=\frac{(3{,}000\ m^3/day\times 0.25\ kg/m^3)}{700\ m^3}=1.07\ kg\ BOD_5/m^3\cdot day$$

廢棄污泥量：

Q×（進流水 BOD_5−處理水 BOD_5）×污泥產率=3,000 m^3/day×(0.25−0.03) kg/m^3×0.35 kg 污泥/（kg BOD_5 去除）

=220.5 kg 乾污泥/day

污泥齡：

$$\frac{(V\times MLVSS)}{\text{廢棄污泥量}}=\frac{(700\ m^3\times 3\ kg/m^3\times 0.75)}{220.5\ kg\ \text{乾污泥/day}}=7.1\ days$$

SVI：

$$\frac{SV_{30}(\frac{mL}{L})}{MLSS(\frac{g}{L})}=\frac{200\ mL/L}{3.0\ g/L}=67\ mL/g$$

XR：

$$\approx\frac{10^6}{SVI}=\frac{10^6}{67}=14{,}925\ mg/L$$

16. 活性污泥膜濾法 (MBR) 的主要過濾薄膜有哪些？

解答：超過濾 (Ultrafiltration, UF) 或微過濾 (Microfiltration, MF)。

17. 端點過濾與橫流過濾的主要區別是什麼？

解答：端點過濾之懸浮液流動方向與薄膜表面垂直，固體物被截留在薄膜表面形成濾餅層，濾餅厚度隨過濾量增加而增加，滲透液流量則隨濾餅厚度增加而減少，濾餅須依賴週期性反沖洗以移除；橫流過濾之懸浮液流動方向與薄膜表面平行，懸浮液在薄膜表面之橫流產生剪力作用而避免形成過厚濾餅，當濾餅之累積與清除效應達到平衡，濾餅厚度即固定。

18. 為什麼商業系統多採用橫流過濾？

解答：由於橫流過濾必須有一速率分量平行於薄膜表面，因此薄膜本身之移動或空氣氣泡擾動，均能達到類似效果。為避免積垢產生以得最大滲透通量，商業系統多採橫流過濾。

19. MBR 技術的快速發展原因有哪些？

解答：1. 膜製造技術改善，使其使用壽命延長 3 至 8 年。

2. 薄膜價格大幅降低，減少固定成本與操作成本投資。

3. MBR 技術可解決新興產業污染問題。

20. MBR 系統操作中如何維持固定的污泥齡？

解答：過量污泥需定期排出以維持固定的污泥齡。

21. 支流式 MBR 與浸入式 MBR 的主要區別是什麼？

解答：支流式 (Side Stream) 或氣舉循環式 (Air-Lift Recirculation) MBR，以正壓力梯度方式，將循環於膜管內側（外側）之混合液，由內向外（由外向內）產生滲透液（處理水）；浸入式 (Submerged) 或整合式 (Integrated) MBR，通常由膜管內側吸取滲透液，亦即以產生負壓力方式，由外向內產生滲透液。

22. 使用浸入式 MBR 配合中空纖維膜有何優點及缺點？

解答：在使用浸入式 MBR 配合中空纖維膜時，由於大幅增加薄膜表面積，可以克服低通量及改善積垢問題，甚至更省能源，而降低操作成本。

23. MBR 系統相較於傳統活性污泥法的主要優點是什麼？

解答：MBR 與傳統活性污泥程序相比，占地面積僅為傳統活性污泥程序之一半，污泥產量亦約為傳統活性污泥法之一半。與傳統處理技術比較，MBR 的技術特點說明如下：

1. 適合特殊污染物處理，亦常應用在公共污水廠。
2. 初設及操作成本較高，但出水水質佳且可回收再利用，故以總成本而言仍較有利。
3. 污泥可完全截留，沒有傳統程序污泥分離的問題，系統操作維護容易。
4. 污泥停留時間可相當長，生長速率緩慢的微生物得以滯留與增殖，有利於特殊或難分解污染物的去除。
5. 污泥濃度高，處理系統單位活性增加，進而減少處理槽體積。
6. 處理系統不須設置沉澱及過濾單元，可大幅節省空間。
7. 截留難分解之高分子物質，增加處理效率。
8. 可去除細菌和病毒，以達消毒作用。

9. 維持低 F/M 比操作，減少廢棄污泥量。
10. 處理單元緊密配置，減少臭味溢散。

24. 為了維持氧化渠內物質的混合懸浮移動，水流速應控制在多少？
解答：氧化渠內的水流速應控制在約 45 cm/sec。

25. 氧化渠的轉輪主要有什麼作用？
解答：1. 供給使溝渠內物質能完全混合所需之推力。
2. 輸入維持生物分解作用所需的氧。

26. 氧化渠有哪些特性？
解答：1. 具有較大的緩衝容量，受水質水量負荷之影響較小。
2. 不需初沉池，可減少建造費。
3. 處理操作簡單，曝氣（或轉輪）設施之清理維護簡易，所需人力少。
4. 操作時臭味產生較少，廢棄污泥量較少並可免設污泥消化設備，直接曬乾。
5. 所需處理用地較大。
6. 水深為 1.2-1.6 m，寬為水深之 1.0-1.2 倍。
7. 轉輪之迴轉數為 60-120 轉/分。

27. 請列出接觸曝氣法的優點和缺點。
解答：1. 優點：
(1) 由於係利用附著於濾材擔體表面之生物膜，因此接觸槽單位容積表面積（比表面積）較大，可保持更多量之生物膜。
(2) 由於附著之微生物污泥齡長，生物相多而呈安定化狀態，同時亦可促進微生物自行氧化，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。
2. 缺點：
(1) 附著之生物膜量不易調節。
(2) 在高 BOD_5 負荷或高 SS 負荷下操作，由於生物的增殖，會造成濾材擔體阻塞。
(3) 剝落之生物膜在終沉池中不易沉澱，亦即容易自溢流堰流失而增加出流水 SS 濃度。

國家環境研究院 National Environmental Research Academy

28. 請解釋流動床生物膜法 (MBBR) 的關鍵技術及其應用範圍？

解答：MBBR 的關鍵技術是需要開發比重接近於水，並在輕微攪拌時即能隨水混合流動的濾材擔體。在處理程序設計上，MBBR 可根據廢水特性作為活性污泥程序的預處理，也可設置於其他二級生物處理單元如活性污泥法或 SBR 程序之後，作為有機物的最終處理程序。針對廢水中氮磷去除的需求，MBBR 亦可搭配設計成 A/O 程序，應用範圍廣，是近年來逐漸受到重視的生物處理程序之一。

3.2 生物除氮與除磷程序

29. BioNET®技術的特點有哪些？

解答：BioNET®技術為工研院近年所研發完成，係以『多孔性生物擔體』為核心之新型生物處理系統。採用多孔性擔體作為反應槽之介質，提高懸浮固體物攔截之機會，因提供廣大表面積和孔隙體積作為微生物附著、增殖之空間，可累積大量及特定族群之生物膜微生物，有助於達到去除各種污染物之目的。反應槽採用浮動床方式操作，具有高負荷、高效率、高穩定性及操作簡易等特點。本技術具有提升處理槽效率、降低二次污染、簡化操作、提升穩定性等優點，尤其適合處理低負荷，高流量之操作。

30. 請列出穩定塘中藻類光合作用去除污水中磷酸鹽的注意事項。

解答：1. 保持 C：N：P 之平衡。
2. 充足之陽光。
3. 適當的 pH 值。
4. 溫度的控制。
5. 充足的廢水停留時間。

3.3 厭氧生物處理程序

31. 厭氧反應過程中，酸性發酵期、酸性減退期及鹼性發酵期的特點分別是什麼？

解答：1. 酸性發酵期：有機碳水化合物被酸生成菌分解成低分子有機酸，本階段 pH 降至 5，有腐臭味。
2. 酸性減退期：蛋白質分解為氨、胺基酸等，再與上階段所產生的有機酸中和及分解，此時 pH 約 6-6.5 左右。
3. 鹼性發酵期：將低級有機酸經由甲烷菌分解產生 CO_2、CH_4、NH_4^+，為厭氧反應的最終階段。此時 BOD_5 減少，pH 升至 7.5 左右。

32. 在厭氧處理過程中，如何增加系統的污泥停留時間 (SRT)，以確保甲烷生成菌的生長？

解答：污泥停留時間 (SRT) 為厭氧處理重要指標。在處理過程中，甲烷化為最後的階段，故為確保複雜有機物能有效轉化為甲烷和二氧化碳，必須有足夠的 SRT，使甲烷生成菌能夠生長及反應，因此如何增加系統之 SRT，為維持甲烷菌生長的重要因子。

33. 請比較厭氧濾床法、上流式厭氧污泥床法 (UASB) 和厭氧流體化床反應器 (AFBR) 的主要優缺點。

解答：1. 厭氧濾床法：

(1) 優點：

A. 不需污泥迴流即能得到很長的污泥停留時間 (SRT)。

B. 水力停留時間 (HRT) 可以縮短。

C. 微生物生長係數 (Y) 小，污泥產生量少。

D. 能忍受較大的負荷變化及溫度等環境變化。

(2) 缺點：最大的缺點為容易堵塞，故本法只適於處理溶解性有機物廢水，若廢水含高濃度的懸浮固體必須先用效率高的前處理單元將懸浮固體去除後，才可將廢水以厭氧濾床法處理。

2. 上流式厭氧污泥床法 (UASB)：

(1) 優點：

A. 可維持高濃度的污泥床。

B. 具有氣固液三相分離功能，提高反應效率。

(2) 缺點：適於處理含固形物少而溶解性有機質高的廢水。

3. 厭氧流體化床反應器 (AFBR)：

(1) 優點：

A. 活性生物濃度高，可縮短生物反應時間。

B. 減少反應槽體積及用地面積，大幅降低初期投資費用。

C. 具有高活性生物濃度，對於突增負荷或溫度改變所產生的影響較少。

D. 對於已達負荷的廢水處理廠，其處理容量的擴充較方便。

E. 生物流體化床之水頭損失較滴濾池法為小。

(2) 缺點：

A. 需要一相當均勻的水流分散設備。

B. 技術經驗較缺乏，設計與建造均較困難。

C. 操作管理需要較高的技術。

D. 迴流率大，動力需求較大。
E. 停俥時生物會略受損害，需一段時間才能恢復。
F. 生物膜生長速率慢，啟動時間長。

34. 厭氧反應系統相比活性污泥系統有哪些主要優點和缺點？

解答：1. 優點：

(1) 較低的生成作用，產生的污泥較少，一般為好氧法所產生污泥量的 1/3 至 1/5。
(2) 由於所產生的污泥量較少，相對地無機營養物質（如氮和磷）需要量就較少。厭氣法產生的污泥通常含 11%氮及 2%磷。
(3) 不需曝氣，節省動力和電費。
(4) 產生具經濟價值之甲烷產物，通常去除 1 公斤的 COD 在標準狀態下可產生 0.35 m^3 的甲烷。
(5) 長時間（8 至 12 個月）不供應有機物，厭氣菌呈休止態，不會破壞其品質。在短時間內（通常 1 至 3 天）可使其恢復正常機能。
(6) 反應槽中的微生物濃度可到 1 至 3% (10-30 kg/m^3)。
(7) 可忍受衝擊性的高容積負荷。

2. 缺點：

(1) 由於低的污染物去除速率及低的污泥產生量，起動時間較長。一旦出問題，也需較長的時間來復原，通常需 1 至 6 個月。
(2) 由於污泥產生率低，通常為 0.04 至 0.08 kg TSS（總懸浮固體）/kg COD，低濃度的廢水使反應槽中的微生物不易維持高的濃度。處理低濃度的有機廢水較不經濟。
(3) 產生硫化氫、硫醇、有機酸及醛等難聞且有腐蝕性之產物。
(4) 對一些抑制性及毒性物質敏感，如氧化劑（O_2、H_2O_2 及 Cl_2）、H_2S、HCN、SO_3 及高濃度的木材萃取物，包括樹脂酸 (Resin Acids)。

附錄 2、活性污泥攝氧率之定義與量測方法

35. 活性污泥攝氧率的實驗步驟為何？

解答：1. 採取新鮮的活性污泥樣品。

2. 在化驗室即時充分混合並加以曝氣，使溶氧濃度提高至 5 mg/L 以上。

3. 將混合後的活性污泥樣品置入 BOD 瓶中，加至部分溢出瓶頸，輕敲瓶壁以趕出氣泡。
4. 將溶氧電極插入 BOD 瓶中，同時加以攪拌，並將溶氧測定儀濃度鈕調至 0-10 mg/L 刻度範圍。
5. 等候約 30-60 秒使儀器穩定，此時指針或讀數已開始繼續下降。
6. 開始記錄時間與溶氧濃度讀數，每隔 30 秒或 1 分鐘記錄 1 次，當溶氧濃度低於 1 mg/L 時即可停止。
7. 以橫坐標為時間（分），縱座標為溶氧濃度 (mg/L) 繪出記錄結果。
8. 於圖中經過大多數測值繪出最佳直線，並向二端延長，使直線與縱橫兩軸相交。

36. 活性污泥呼吸率 (RR) 的計算方法為何？

解答：RR=OUR/VSS

單位為 mg O_2/g VSS·hr

國家環境研究院 National Environmental Research Academy