

本期專題：廢水處理新技術

廢水氮、磷之生物處理技術

歐陽嶠暉*

摘要

廢水中氮、磷物質為造成水體優養的主要來源，其藉傳統的二級生物處理，無法有效去除，而必須以特定的生物處理程序控制，始能有效去除，氮之去除要先硝化再脫硝始能去除。而磷之去除需藉馴養出磷蓄積菌，使其先在厭氧段攝取有機碳之同時釋出磷，再於好氧段充分攝取磷，而於固液分離後，將含高濃度磷的污泥予以排出，達到磷之去除效果。

由於生物去氮、除磷所需環境條件不同，而發展出有各種處理程序，故應用時必須先視廢水量和水質狀況以及擬達到之去除狀況，選擇適當的處理程序。

【關鍵字】

1. 硝化(nitrification)
2. 脫硝(denitrification)
3. 除磷(phosphorus removal)
4. 同時去氮除磷程序(biological nutrient removal processes)

* 國立中央大學工學院院長

一、前　　言

傳統生物廢水處理法為去除溶解性有機物之二級生物處理，以去除BOD為主，但對於污水中氮、磷的去除能力卻很低，因之其放流水仍有造成水體優養之問題。

近年來由於氮、磷生物處理技術的開發，其技術除可達到分別去除氮、磷外，並發展出可同時去除BOD、氮和磷的各種處理方法，這些處理方法各有其特性和處理限界，如何選擇利用成為工程師的一大挑戰。

本文謹就國內污水廠之氮、磷濃度狀況，各種氮、磷處理原理，近年來國內外開發及應用化之厭氧、好氧RBC及活性污泥法之設計及操作管理做一簡介，以提供參考。

二、都市污水水質設計濃度評析

2.1 都市污水水質

都市污水水質依都市形態，住民飲食生活習慣，分合流系統狀況以及氣候季節之不同，和有否工業廢水及工業廢水流入種類和狀態而異。

都市污水處理最重要的水質項目以BOD、SS、N、P為主，依據在分流式之台北市民生污水處理廠連續24小時水質分析結果如表1，國外污水水質狀況示如表2。

由表1顯示台灣地區都市污水(該廠處理流量約 $15,000\text{m}^3/\text{d}$)，其進流水濃度COD為106~287(平均203) mg/L ， BOD_5 為48~201(平均119) mg/L ，SS為53~157(平均108) mg/L ， $\text{NH}_3\text{-N}$ 為22~36(27.9) mg/L ， $\text{PO}_4\text{-P}$ 為1.8~5.9(平均3.6) mg/L 。另有機氮約15 mg/L ，故總氮為42 mg/L 。

上述污水分別經活性污泥系統及RBC兩系統處理後之水質，活性污泥系統之 BOD_5 為50 mg/L ，SS為23 mg/L ， $\text{NH}_3\text{-N}$ 為18.1 mg/L ， $\text{PO}_4\text{-P}$ 為2.1 mg/L ， $\text{NO}_3\text{-N}$ 為1.1 mg/L 。RBC系統之 BOD_5 為25 mg/L ，SS為16 mg/L ， $\text{NH}_3\text{-H}$ 為14.3

mg/L，PO₄-P為2.4mg/L，NO₃-N為3.2mg/L。顯示傳統之二級生物處理對於PO₄-P之去除率平均約為35%(活性污泥系統)~25%(RBC系統)，NH₃-N之去除率約為30%(活性污泥系統)~45%(RBC系統)，硝化效果則以RBC效率較高。

由上顯示無論活性污泥系統或RBC系統，對於氮、磷之去除率皆偏低。

另比較表1及表2，顯示我國都市污水濃度約界於一般污水之中濃度。

表1 台灣地區污水處理廠處理狀況（分流污水、民生廠例）

項目	COD (mg/L)	SCOD (mg/L)	BOD ₅ (mg/L)	SS (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)	NO ₃ -P (mg/L)
進流水 max/min	203 287/106	87 128/47	119 201/48	108 157/53	27.9 36/22	3.6 5.9/1.8	0 0.1/0
初沉池出水 max/min	162 214/105	63 114/12	108 144/63	90 113/47	26 32/21	3.2 4.6/2.3	0 0/0
活性污泥系統放流水 max/min	50 68/28	21 46/15	50 74/38	23 39/15	18.1 20/16	2.1 3.0/1.5	1.1 1.2/0.6
旋轉圓盤系統放流水 max/min	53 84/51	28 39/22	25 39/13	16 35/2	14.3 19/11	2.4 2.8/1.5	3.2 4.3/0.9

註：各欄上行為平均值，下欄為日最少及最大值

表2 未經處理都市污水氮成分典型值（國外例）

水質項目	濃度 (as N mg/L)		
	低	中	高
SS	100	220	350
BOD	110	220	400
氮	20	40	85
	8	15	35
	12	25	50
磷	4	8	15
	1	3	5
	3	5	1

2.2 氮、磷之設計水質

依據我國八十七年放流水標準，水源水質水量保護區之放流標準分別為磷酸鹽4mg/L、氨氮10mg/L、硝酸鹽氮50mg/L，而各國對於防止優養之氮、磷的

放流水標準，多採總氮10或15mg/L，總磷為0.5或1mg/L以下。

目前國內已進行設計之數個包括處理氮、磷之污水處理計畫，其設計水量、水質及所採用之處理程序如表3。

依表3，各污水廠設計NH₃-N多採20mg/L，顯較我國實際污水濃度稍低，而PO₄³⁻多採8~10mg/L，顯較實際污水濃度為高，且未來含磷清潔劑之使用，將大為減少，因之未來於決定設計時，需進一步檢討適當的濃度。

表3 台灣地區污水處理計畫氮、磷去除之設計案例

廠名	處理量 (m ³ /d)	生 污 水 (mg/L)				放 流 水 (mg/L)				處理方法
		BOD	SS	NH ₃ -N	PO ₄ ³⁻	BOD	SS	NH ₃ -N	PO ₄ ³⁻	
六塊厝	100,000	200	200	20	10	≤30	≤30	≤10	≤4	A ₂ O
五明	12,870	220	220	20 (T-N 40)	10	≤30	≤30	≤10	≤4	A ₂ O
墾丁南灣	1,000	180	180	20	10	≤30	≤30	≤10	≤4	厭氧及好氧 RBC活性污泥
雪霸武陵	500	200	200	20	8	≤30	≤30	≤10	≤4	厭氧及好氧 RBC活性污泥
坪林	3,300	180	200	TNK 30	4	≤10	≤20	NH ₃ -N 5 NO ₃ -N 15	≤2	氧化渠

三、生物除氮之原理及處理程序

氮在都市污水中以有機氮和氨氮存在，合計為總凱氏氮，主要為人體所排出之蛋白質代謝物。而有機氮中生物可分解部份必先經水解氯化成為氨氮，再併同原來生污水中之氨氮，經由好氧細菌的反應，部份合成為細胞，部份則由硝化菌的作用氧化為亞硝酸鹽再氧化為硝酸鹽。

經硝化後的硝酸鹽在缺氧狀態下，則藉脫硝菌的作用，還原成氮氣，而散出於大氣中，予以去除。

氮處理程序中氮之轉換流程示如圖1。

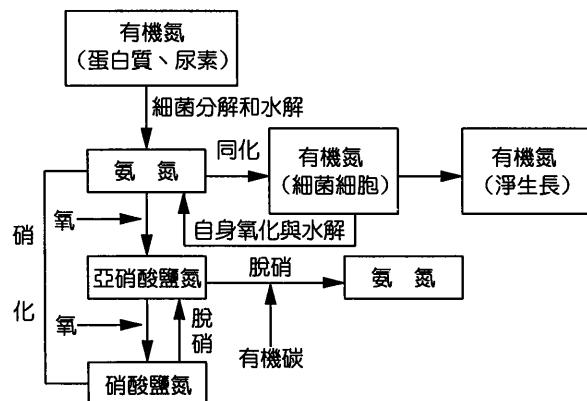
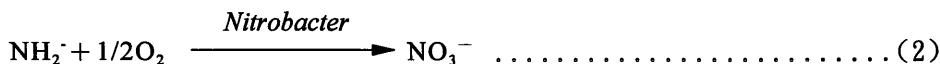
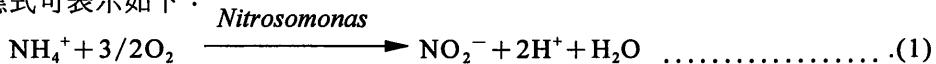


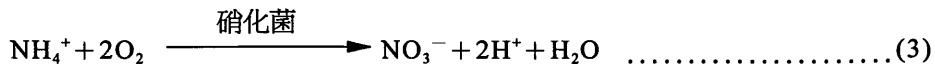
圖1 氮處理程序中氮之轉換流程

3.1 硝化作用

硝化作用為自營菌將氨氮先氧化為亞硝酸鹽氮，再氧化成硝酸鹽氮而釋出能量，並以二氧化碳或碳酸鹽為碳源，合成細胞質的過程。其硝化作用的化學反應式可表示如下：



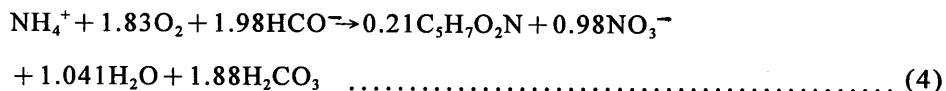
其總反應式為：



氨氮氧化為亞硝酸氮所釋出的標準自由能約為 66~84 kcal/mole ammonia，而亞硝酸氮的氧化約釋出 17.5 kcal/mole nitrite(Painter, 1970)。若微生物的細胞合成量正比於能量釋放，則因氨氮氧化所形成的微生物量將比因亞硝酸氮氧化所形成的微生物量要多。

因此，氨氮完全氧化的理論需氧量是 4.57g/gN，其中 3.43g/gN 是用來形成亞硝酸氮，1.14g/gN 用來形成硝酸氮，但是當考慮微生物的合成作用時，實際的氧需求量將較低些，根據 U.S. EPA Nitrogen Control Manual (1975) 所提之方程式(4)計算，氨氮完全氧化與細胞合成之需氧量為 4.18g/gN，細胞生長率(cell

yield)分別為 $0.15\text{g/g NH}_4\text{-N oxidized}$ 和 $0.02\text{g/gNO}_2\text{-N oxidized}$ 。



此外，由方程式中可計算出每 g 的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 氧化會消耗 7.14g 的鹼度 (as CaCO_3)，這表示都市污水處理廠若進流水中 25mg/L 的氨氮，要將之完全去除需要在進流水中 260mg/L 的鹼度，才能保證曝氣槽出流液中仍有 80mg/L 的鹼度。因此現場的操作上，通常是添加石灰或蘇打粉維持硝化槽的 pH 值，以利硝化作用的進行。

硝化作用之影響因素包括：

- 1.水力停留時間：水力停留時間愈長硝化作用愈完全，但欲達到硝化作用之水力停留時間隨系統內活性微生物量之增加而降低，故增加活性微生物量可減少水力停留時間。
- 2.有機物負荷：有機負荷 BOD/TKN 比的高低，會直接影響活性污泥系統中硝化菌的比率。依 Metcalf 等，當 BOD_5/TKN 比大於 5 時，硝化菌所佔比率將降至 0.054 以下，影響硝化之進行，因之其比率以低於 5 以下為宜。處理水 BOD 對氨氮去除率之影響如圖 2。
- 3.溫度：溫度的影響與一般活性污泥法相同，溫度愈高其系統的氨氮愈能完全氧化為亞硝酸鹽氮與硝酸鹽氮，使得系統的 T-N 去除率愈高，一般操作溫度在 $20\sim 35^\circ\text{C}$ 。

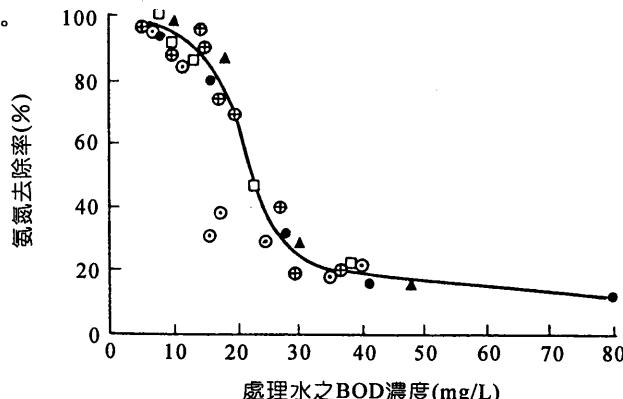


圖2 處理水 BOD 對氨氮去除之影響

硝化之溫度影響關係式如下： $\mu_m' = \mu_m \exp[0.098(T-15)]$

式中 μ_m' ： $T^\circ\text{C}$ 時硝化反應之最大比生長速率(l/d)

μ_m : 15°C時硝化反應之最大比生長速率(l/d)

4. 溶氧：由於硝化菌皆為好氧菌，硝化反應的進行需要有溶氧，通常水中的溶氧愈高硝化的速度愈快。故欲增進硝化作用的效果，一般污水中溶氧的濃度應維持在2.0mg/L以上較佳。(如圖3)
5. pH：由於硝化作用會消耗鹼度(7.14mg/mgN as CaCO₃)，因此若水中鹼度不足硝化槽的pH值將逐漸降低，通常須於槽中添加鹼液調整pH值。一般pH值範圍在6.5~8.6之間，最佳pH值在6.7~7.0左右。(如圖4)

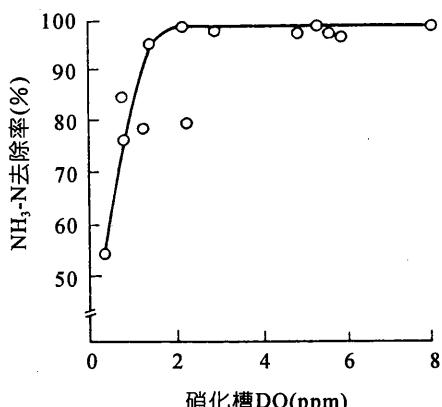


圖3 硝化槽DO與氨氮去除率之關係

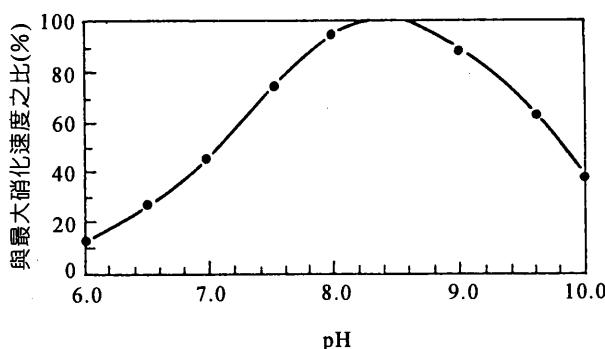


圖4 pH變化對最大硝化速度之影響

6. ASRT：為維持硝化菌能不被洗出，以較長SRT為宜，因之若為活性污泥系統之MLSS濃度要高於活性污泥法之濃度，以2,000~3,000mg/L為宜。

7. 其他影響因子：例如非游離態自由氨分子(free ammonia)及非游離態亞硝酸(unionized nitrous acid)均會對硝化作用造成抑制(Anthonisen, 1976)。其他尚有如重金屬等均會影響系統的除氮效果。

3.2 脫硝作用

脫硝作用係以硝酸根做為氫之電子接受者，將硝酸鹽氮還原為氮氣，並分解有機碳源以獲得能量之作用(Henze, 1987)。其脫硝作用的化學反應式為：



還原態的碳源 + $\text{NO}_3^- \rightarrow$ 氧化態碳源 + N_2

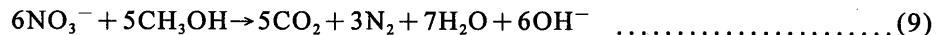
脫硝之程序反應為：



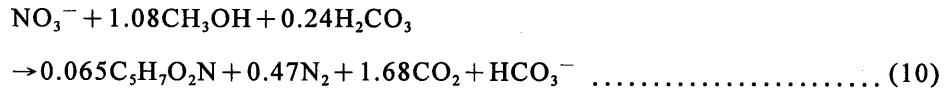
其合併式為



若以甲醇為碳源之脫硝反應為



於同時考慮細胞合成時之反應式為



由上兩式知脫硝反應每去除1mg的硝酸鹽氮會消耗2.47mg的甲醇，相當於3.7mg COD，同時產生0.45mg的新細胞和3.57mg的鹼度。

影響脫硝之因子包括：

1. 溫度：脫硝作用如同硝化作用，受溫度的影響至大(如圖5)，最適脫硝溫度為25~40°C，依Metcalf & Eddy，脫硝率之溫度變化如下式：

$$P = 0.25T^2 \quad \dots \dots \dots \quad (11)$$

式中P：20°C時脫硝菌之生長率(%)

$$T^\circ : T^\circ\text{C}$$

2. pH：脫硝作用最適pH為6.5~7.5，若太低則其產物為 N_2O ，為影響溫室效應的氣體。

3. 溶氧：脫硝速率受溶氧之影響，其影響式

式中 R'_{DN} ：修正值

R_{DN} ：未受溶氧影響之脫硝速率

DO：溶氧濃度(mg/L)

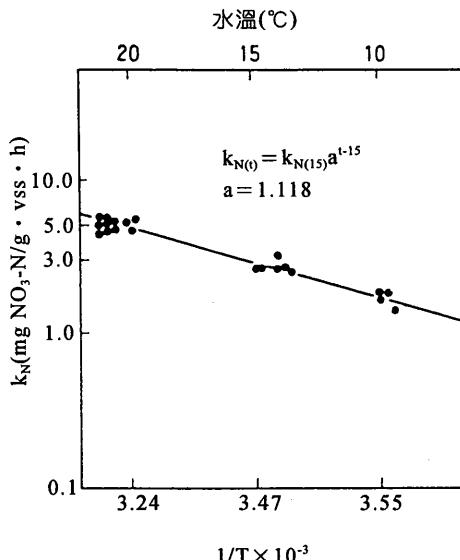


圖5 溫度與脫硝速率之關係

4. 碳氮比：脫硝作用的進行需要以有機物做為氮的電子接受者，若以原污水中的COD有機碳做為碳源，依橋本獎(1986)認為(COD/T-N)比值須在4.5以上，其T-N去除率才能維持在70%以上。但在硝化槽中若有機物負荷過高，異營菌大量繁殖，將導致硝化菌無法留置於槽中，使硝化作用不明顯。故目前多將脫硝槽置於硝化槽之前，以利脫硝作用的進行，並降低脫硝槽的碳／氮比，促進後續的硝化作用。 C_{MEOH}/N 比與脫硝率關係圖如圖6。

3.3 生物硝化脫硝處理程序

生物硝化脫硝併同處理，包括有各種懸浮性生物處理程序，固定生物處理程序等。

1. Wuhrman程序：早期硝化／脫硝生物處理系統最早有Ludzak and Ettinger

(1962)及 Wuhrman (1964)系統，示如圖7。由於脫硝時需要碳源供給脫硝菌之用，因 Wuhrman 系統其脫硝槽置於好氧的硝化槽之後，進流水中可生物分解性的有機碳在曝氣槽中耗半已消耗去除，故脫硝所需的碳源常不足，影響系統的處理效果。因此，常需外加碳源以供微生物脫硝之用，而增加其操作營運成本。

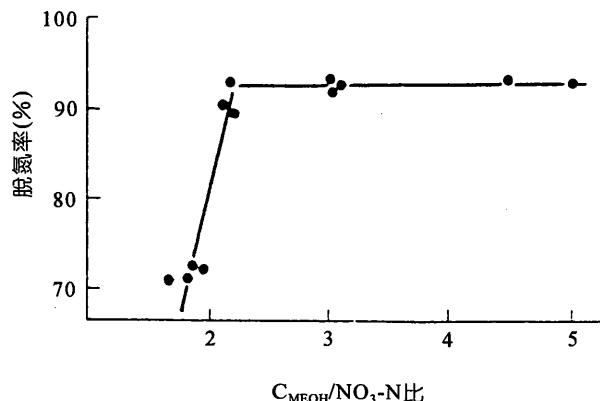


圖6 C/NO₃-N比對脫氮率之影響

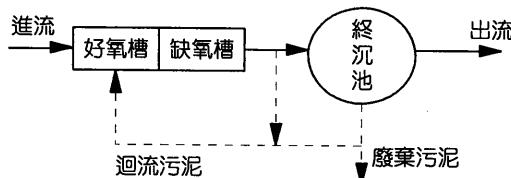


圖7 Wuhrman除氮程序

2.修正Ludzack and Ettinger程序(MLE程序)：原Ludzack and Ettinger程序，為將反應槽分割為兩部份，於前段缺氧槽以進流水COD作為碳源進行脫硝反應，而於後段好氧槽行硝化反應。而修正系統(如圖8)為將後置的脫硝槽改置於硝化曝氣槽之前，而增加一內部循環幫浦將曝氣槽中已硝化完全的亞硝酸鹽或硝酸鹽迴流至前段的脫硝槽中進行脫硝作用。而脫硝作用其微生物所需的碳源則由原污水中可生物分解性的有機碳提供，即所謂使用內部碳源。但因好氧槽出流水仍有未迴流的硝酸鹽排出，而未能完全脫硝。

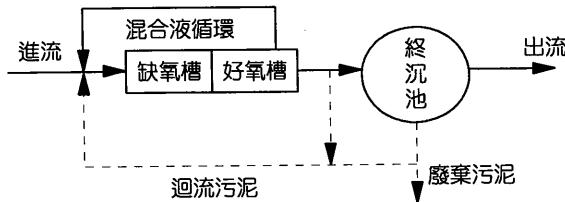


圖8 MLE除氮程序

3.Bardenpho程序：Barnard(1973)繼續改進MLE系統，結合前置脫硝與後置脫硝的優點，成為四階段的處理程序Bardenpho系統(如圖9)，使得前脫硝槽中微生物利用進流水中的可生物分解性有機碳進行脫硝反應，而水中殘餘的硝酸鹽則由後脫硝槽中微生物利用外加碳源或代謝產生的生物碳源進行二次脫硝，故幾乎可達完全脫硝的目的。

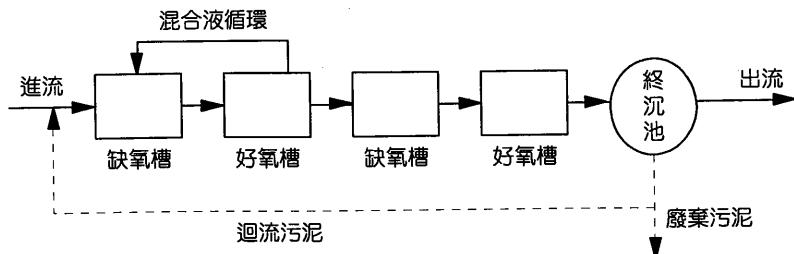


圖9 Bardenpho除氮程序

4.相分離氧化渠程序：氧化渠硝化脫硝程序示如圖10，為於氧化渠的循環流動系統中，藉區分為好氧區及缺氧區，以形成同時進行硝化及脫硝作用，達到去除氮的處理程序。

5.RBC程序：為一系列的RBC系統(如圖11)，栓塞流進流水經好氧RBC氧化、硝化後，再以缺氧RBC進行脫硝，而於放流前，以好氧RBC再做短時間的接觸，以提升放流水溶氧的程序。

6.Pegasus Pellets程序：前述介紹的除氮程序，雖然可以達到有效的氮之去除，但是由於硝化作用需要較長的停留時間才能完全作用，因此勢必需要較大的反應槽體積，這對於地狹人稠的國度來說確實是一大限制。有鑑於此，日本

Hitachi Co.就開發了一項新技術，將硝化菌固定在聚合物擔體中(稱之PEGA-SUS Pellets)(如圖12)，由於固定化的硝化菌擔體，不會像活性污泥流失掉，因此可提昇硝化功能，在較短的停留時間便可達到完全硝化。且由於擔體強大的硝化功能，硝化槽的體積也因此可縮小許多。

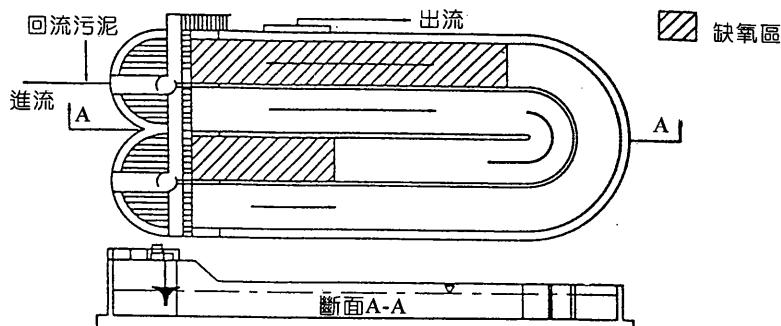


圖10 相分離氧化渠脫氮處理程序

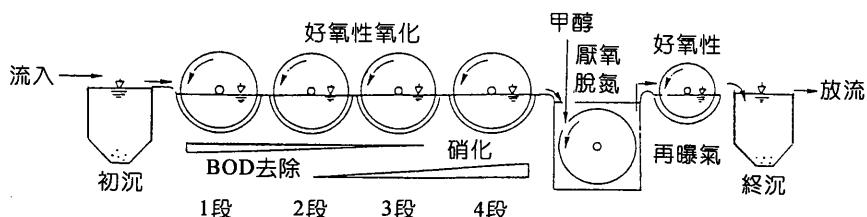


圖11 多段式旋轉圓盤處理設施斷面圖

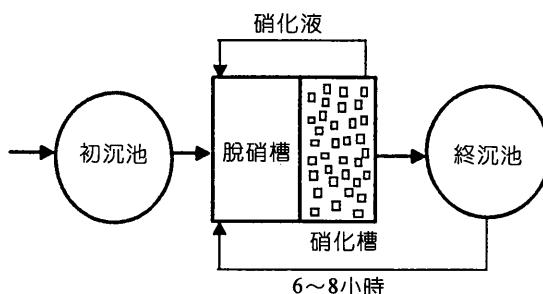


圖12 Pegasus除氮程序

四、生物除磷之原理及處理程序

4.1 生物除磷之原理

生物除磷乃是藉磷蓄積菌以去除水中的磷。目前對生物除磷的生化代謝機制仍未十分明確，起初對於生物除磷機制的解釋多為厭氧區提供“壓力”(stressed)條件而造成磷的釋出，並於其後的好氧段形成加強(enforced)磷的攝取。後來因更多的研究，乃發展出一包括基本生化考量而被一般所接受的模式。

傳統二級生物處理系統，藉由BOD氧化之生物合成作用而攝取水中的磷。而被攝取的磷，則被用來作細胞內能量移轉之用，是細胞合成作用的重要成份，因此磷的攝取量多寡和生物合成作用成計量需要的關係。一般而言，傳統二級處理污泥磷含量在1.5~2%。但AO(anaerobic process)系統中，污泥磷含量可至4~12%之間，大約是傳統活性污泥的2~4倍，這是由於在AO系統中會形成Acinetobacter此類磷蓄積菌的優勢環境，因而加強生物除磷的效果。

生物除磷的機制如圖13所示，在好氧狀態下，磷蓄積菌無法和其他異營菌競爭，因此無法在傳統活性污泥法中持續成長。此種微生物無法利用的醣類，但會優先以短鏈脂肪酸(醋酸和其他經由厭氧酵解所得的中間產物)當作基質利用。並且當這些微生物處於厭氧狀態(無 NO_3^- , O_2)且有短鏈脂肪酸存在時，會將儲存在體內高能的長鏈複合磷酸斷鍵(水解)，釋放出正磷酸鹽於水體中，斷鍵所得的能量則用於吸附及儲存短鏈脂肪酸並以PHB(poly- β -hydroxybutyrate, 聚- β -羟丁酸)的型式存於體內。因為在厭氧狀態下，沒有外來的電子接受者，因此其他異營菌無法經由氧化的程序利用這些短鏈脂肪酸。而這些磷蓄積菌在進入有電子接受者的環境中，就可不需要和其他異營菌競爭而能持續成長。因此在好氧段伴隨PHB的氧化，溶解性的正磷酸鹽快速地被攝取並在體內超量合成聚磷酸鹽，並合成新細胞。磷的去除即以排出這些含高量磷的污泥來達成。而剩餘的溶解性BOD亦於好氧段中被利用並去除。圖14則為典型的磷和BOD在厭氧及好氧段的變化情形。

因此，當生物處理程序為厭氧／好氧反應槽串聯之型式時，可得生物處理程序除磷之效果，有效降低廢水中的含磷量，至於過量貯存於細胞體內的磷，則可經由系統排泥而隨廢棄污泥一併處置之。

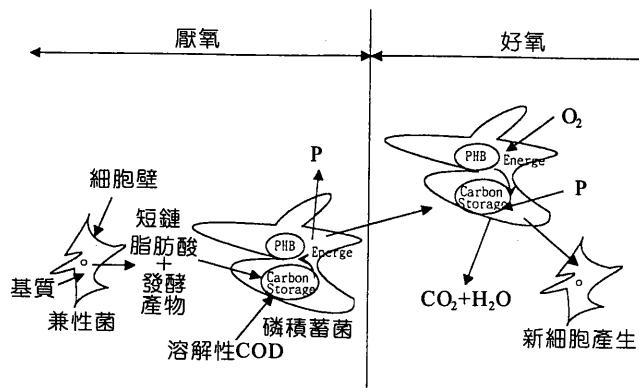


圖13 生物除磷機制(PHB=poly- β -hydroxybutyrate, 聚- β -羥丁酸)

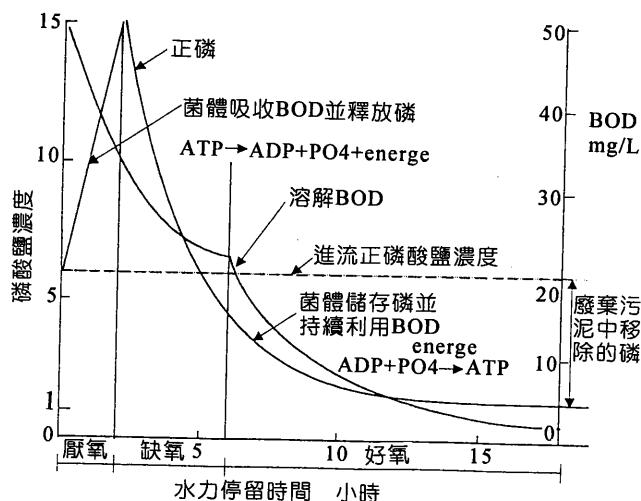


圖14 厮氧／好氧程序對於BOD及磷的去除特性之典型示意圖

生物除磷作用之影響因子可分為下列幾點：

1. pH：一級最適pH為7.5~8.0之間。
2. 磷的蓄積能力(phosphorus storage capability)：磷的蓄積能力主要是為了將一

活性污泥程序區分為兩種型式，一種為“磷的負荷限制(phosphorus loading limited)”，另一種為“磷的蓄積限制(phosphorus storage limited)”(Reddy, 1991)。如果系統中的污泥具有超過其相對應磷負荷的磷蓄積能力，則此程序的除磷效果為磷的負荷所限制；又若程序中的污泥缺乏磷攝取及儲存的能力，則稱該程序為磷的蓄積能力所限制。一般傳統活性污泥法由於缺少厭氧段，因此，通常為磷的蓄積限制。

3. 碳／磷比：在現有的程序中，其污泥的最大磷含量所對應的碳／磷比值為一臨界值。當碳／磷比值大於此臨界值時，則此系統屬於“磷的負荷限制”，系統中的磷含量小於最大污泥磷含量，其放流水中磷的濃度與進流之磷負荷無關。系統中污泥的磷含量會隨MCRT、碳／磷比值等之變動而能自行調整其污泥的磷含量，使系統達到一定程度之磷去除率。反之，若進流水之碳／磷比值小於系統之碳／磷臨界值，則此處理程序便是屬於“磷的蓄積限制”，此系統中污泥磷的含量維持一定，且無法再增加其磷含量。其磷的去除主要是隨著系統廢棄污泥來達成，而放流水中磷的濃度則隨負荷之增加而升高。因此，在程序的設計上其碳／磷比值應在其碳／磷臨界值以上，使其處於“磷的負荷限制”之下操作，以確定系統對磷的去除是處在安全的磷負荷之下。一般建議之TBOD/T-P比以20以上為宜。
4. 厭氧槽的水力停留時間：生物除磷程序最重要的關鍵乃在厭氧段中污泥的釋磷作用，因其釋出的量愈多，在好氧段所超量攝取的量將愈多。而厭氧段的停留時間卻影響到污泥釋磷作用的進行，若停留時間不夠，污泥所釋出磷的量太少，將直接影響其在好氧段對磷的攝取量，導致系統的除磷效率降低。因此，厭氧槽的停留時間愈長，其污泥將具有較大的“磷蓄積能力”。Randall (1911)建議在完全厭氧的環境(指沒有溶氧及氧化氮的存在)，應具有1~2小時以上停留時間為宜。
5. 污泥齡：生物除磷系統中磷的去除，僅能藉廢棄污泥排出，增加廢棄污泥量將可提升磷的去除率。因此，污泥齡(MCRT)不宜過長，一般在5~12天左右。故通常以傳統活性污泥法之MLSS濃度(2000mg/L)操作，增加廢棄污泥量或減少MCRT可增進系統對磷的去除效果。

- 6.硝酸鹽的抑制：在生物除磷程序中硝酸鹽的存在會造成厭氧槽中磷釋出的抑制(Hascoet et al., 1985)。因此，在考慮將氮、磷合併去除時，應將迴流的硝酸鹽避免流進磷釋出的厭氧槽，即另外設置一缺氧的脫氮槽，以避免影響磷的釋出，而降低系統的除磷效果。
- 7.攝磷溶氧量：為使磷蓄積菌於好氧槽中能充分攝取磷、好氧槽中之溶氧量以維持在 2.0mg/L 以上為控制條件。

4.2 生物除磷處理程序

1. Phostrip程序：最早進行生物除磷的實驗開始於Levin and Shapiro(1965)，並證實經由系統中厭氧反應槽前所促進的釋磷作用，發現在好氧區中微生物的富磷儲存現象，但當時並不瞭解有機碳的儲存與釋磷作用之間的相互關係，以及厭氧槽中硝酸鹽的影響性。因此Levin and Shapiro在活性污泥法的迴流污泥管線上加一側流，讓迴流污泥先經厭氧攪拌，進行內呼吸釋出磷後再迴流至曝氣槽，而厭氧槽中上澄液因含有大量的磷酸鹽，故利用石灰添加使之沈澱去除。以此架構後來發展出Phostrip系統，示如圖15。

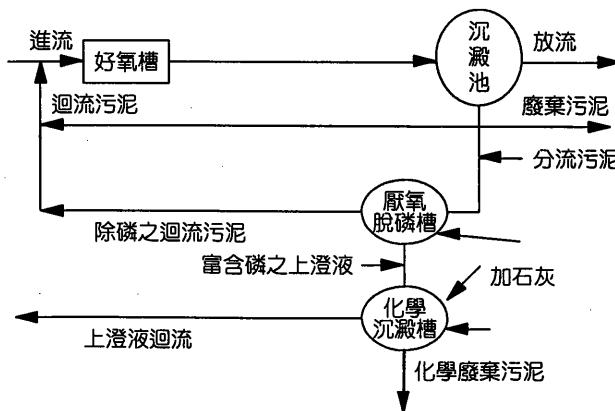


圖15 Phostrip除磷程序

2.AO程序：Barnard(1973)整理許多污水處理廠有關生物除磷的資料發現這些具有生物除磷效果的污水處理廠都是屬於栓塞流懸浮生長型式的活性污泥系統，而且在系統中大多以高負荷操作來抑制硝化作用的發生。於是Barnard乃改良Phostrip系統，在好氧段前面增置一厭氧區，讓進流廢水先經厭氧區再經

好氧區，使廢水中的有機碳能在厭氧區中被微生物利用，藉以取代Phostrip系統中的內呼吸型式。Barnard(1975)將此系統稱之為Phoredox系統，其後美國的Air Products and Chemicals Inc.取得專利，而以"Anaerobic/Oxide" or "A/O"為註冊商標，示如圖16。

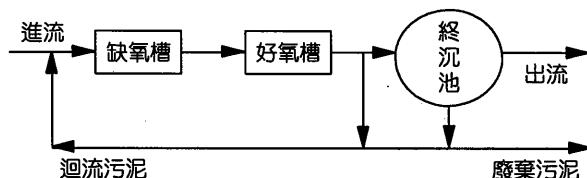


圖16 AO除磷程序

3.SBR程序：在SBR處理程序如圖17，藉操作控制為進水、厭氧、好氧、沈澱及排出各不同之程序，行厭氧、酸酵、釋磷、生物攝磷等作用，於經沈澱分離後，排出含高磷濃度之污泥。

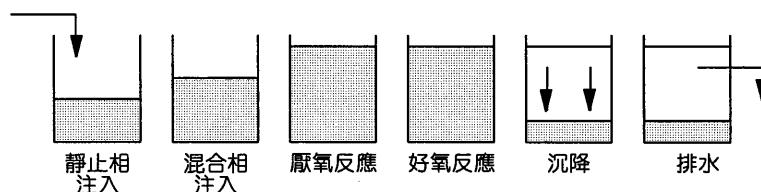


圖17 SBR除磷系統

五、併同去除BOD、氮、磷之處理程序

近年來為提高污水處理之效率，達到以簡易的處理程序，同時去除氮、磷，而研究開發了很多的處理方法，而這些方法多針對氮、磷處理時，前者硝化需較長為ASRT，而後者需藉排泥以去除蓄積於污泥中的磷，故ASRT不宜過長之衝突性。

1.Barnard A₂O程序：Barnard將前述除磷系統Phoredox的觀念溶入MLE系統，於Bardenpho程序前加一厭氧槽而開發出三階段的處理程序，並由A.P.C., Inc在美國取得專利，稱為"Anaerobic/Anoxic/Oxide" or "A₂/O"程序(如圖18)。

為達到本處理程序的處理機能，除應達到完全硝化所需SRT之同時，也能達到磷以剩餘污泥的排出，而為使兩者同時達到，其應保持的一定SRT範圍示如圖19。

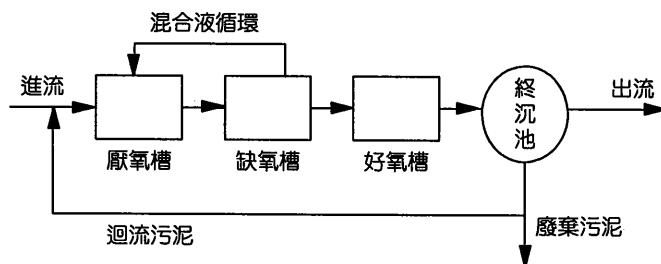


圖18 Barnard A₂O處理程序

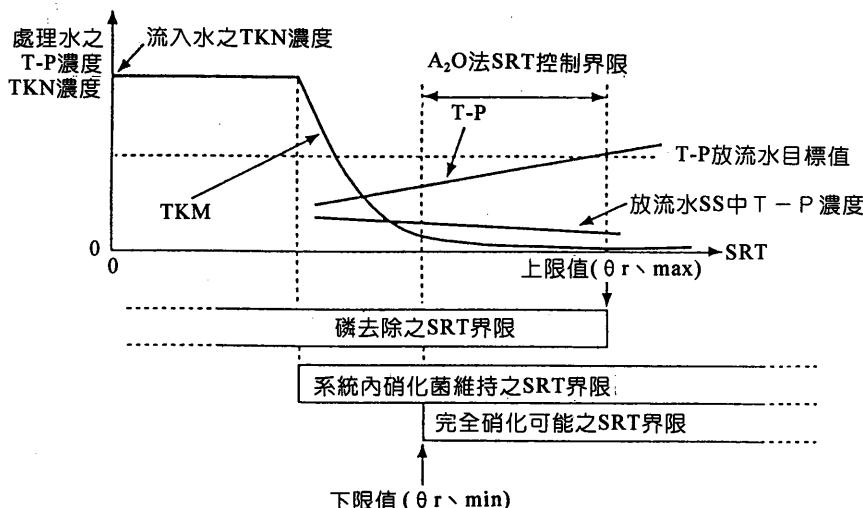


圖19 A₂O法之SRT控制概念圖

2.Modified Badenpho程序：1978年南非Barnard再將前述Phoredox的觀念加入Badenpho系統，成為五階段的Modified Badenpho系統，示如圖20。雖然Modified Badenpho系統有極佳的硝化／脫硝效果，但仍有部份的硝酸鹽隨

著迴流污泥進入前面段的厭氧槽中而降低磷的釋出量，直接影響好氧槽中磷的超量攝取，而會導致系統的除磷效果降低。

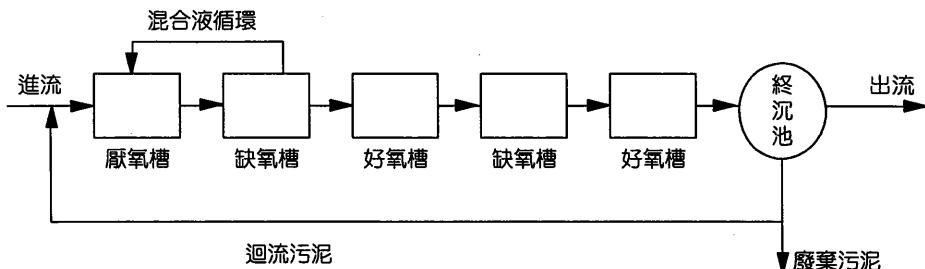


圖20 Modified Bardenpho處理程序

3.UCT及Modified UCT (MUCT)程序：為避免厭氧槽的釋磷作用受到迴流污泥中硝酸鹽的干擾，南非開普敦大學(University of Cape Town, UCT)提出UCT系統，Marais et al.將三階段式A₂/O系統的污泥迴流管線重新安排，由終沈池迴流的污泥先經第二段的缺氧槽進行脫硝後，再迴流至第一段的厭氧槽進行生物釋磷作用，示如圖21。

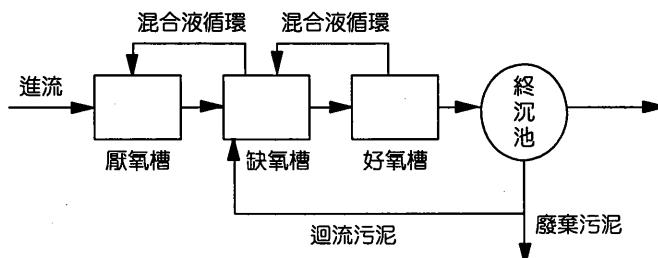


圖21 UCT處理程序

但是UCT系統雖可增進除磷效率，卻因缺氧槽的水力負荷過大，造成硝酸鹽去除效果的降低，連帶影響系統的除磷效果。因此Randall(1984)再提出Modified UCT系統(簡稱MUCT系統，示如圖22)及於厭氧槽與缺氧槽之間再增加一較小的缺氧脫硝槽，使迴流污泥先經此區進行脫硝，再迴流至厭氧槽進行生物釋磷作用，而成爲四階段式的處理程序，如此可降低第二缺氧槽的水力負荷，提升氮、磷段處理效果。

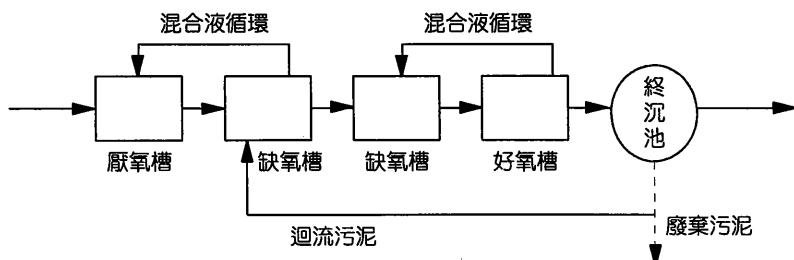


圖22 MUCT處理程序

4.VIP及MVIP程序：VIP(Virginia Initiative Plant)程序如圖23，為將污泥及硝化混合液都迴流至缺氧槽，其後再自缺氧槽迴流混合液至厭氧槽之程序，則迴流之硝酸鹽可在缺氧段內先被去除，減低對厭氧段釋磷段抑制。

Modified VIP如圖24，為利用VIP於階梯式活性污泥系統，為將反應槽分成數段串聯，並區分為厭氧段、缺氧段及好氧段，進流水則依反應需要，分點流入。

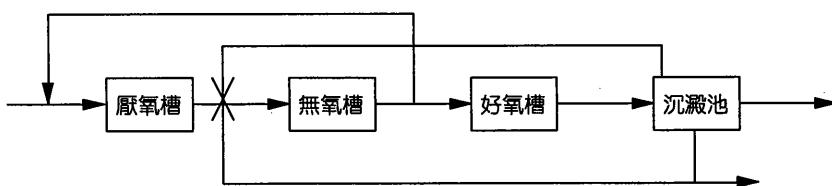


圖23 VIP系統

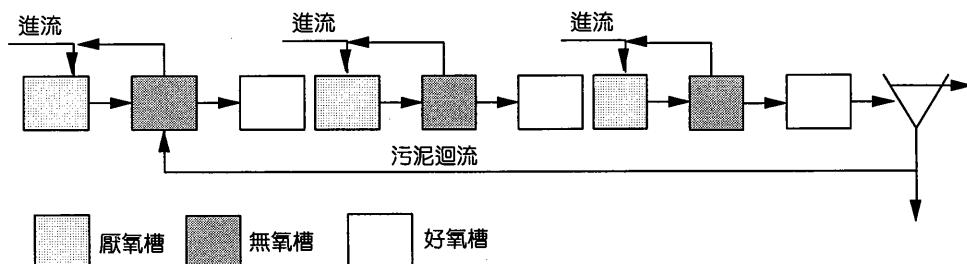


圖24 MVIP系統

5.SBR程序：本程序為將SBR系統之操作，分為進水、厭氧期、好氧期、缺氧期、沈澱期及排水和排泥之操作，以達釋磷、硝化、攝磷、脫硝及分離，以達除磷、脫氮之處理，其操作程序如圖25。

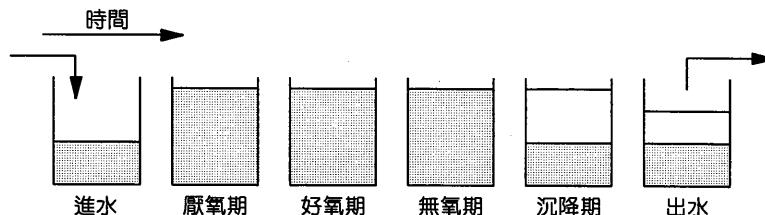


圖25 SBR碳氮磷同時去除系統

6.厭氧、缺氧及RBC活性污泥程序：本程序為改善同時去除氮、磷之SRT的衝突性，而於A₂O之好氧槽中設置RBC，藉以延長ASRT，提升硝化效果，但不影響攝磷之懸浮性微生物活性污泥之SRT為目的。可達到提升氮、磷之去除效果。(如圖26)

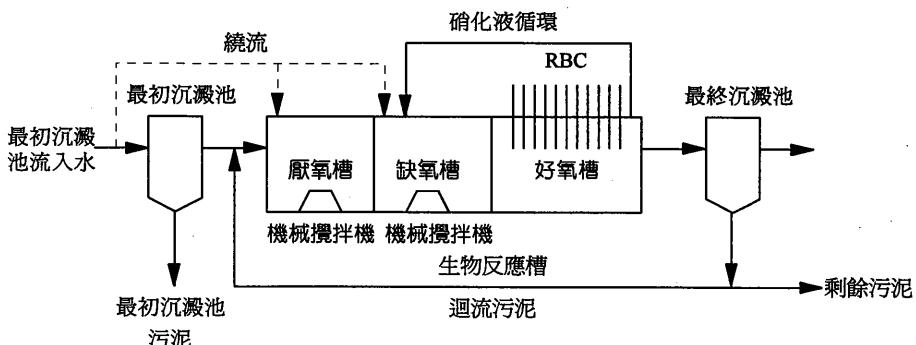


圖26 厭氧、缺氧及RBC活性污泥法處理流程

7.AOAO程序：各種硝化脫硝生物程序，皆需迴流硝化混合液，以致增加操作上的動力和設備，同時降低脫硝槽的反應時間，因之在一栓塞流系統，流入水及迴流污泥先經厭氧槽反應，進行釋磷作用後，再於好氧槽進行充分好氧硝化及攝磷反應，其後於後續之缺氧槽進行充分脫硝，為提供碳源供脫硝之需部份進流水引入脫硝槽供利用，而處理水出流之前再予提升溶氧，則其放

流水就無硝酸鹽排出，同時可達避免迴流污泥影響釋磷之現象，惟此程序必須配合ORP及DO控制。(如圖27)

上述各種生物除磷脫氮系統的設計參數示如表4，去除程度的比較如表5，各種處理系統的比較如表6。

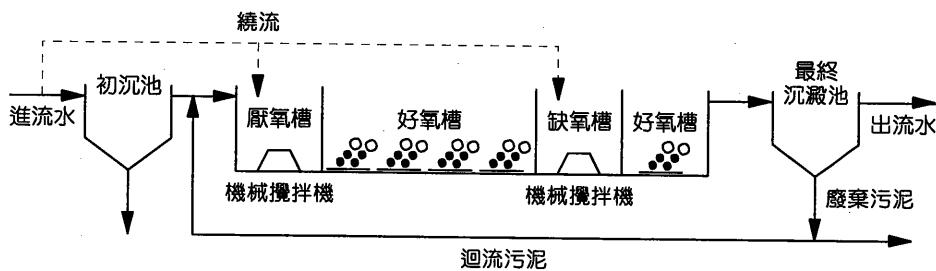


圖27 AOAO系統

表4 各種生物除磷脫氮系統的設計參數

程序 設計參數	PHOSTRIP	Modified Bardenpho	A ₂ /O	SBR	相分離式 氧化渠	UCT
食微比， (kgTBO/kgMLVSS.d)	0.1~0.5	0.1~0.2	0.15~0.25	0.1	0.1~0.2	0.1~0.2
θ^c	0.3~0.8	10~40	4~27	—	10~30	—
MLSS, mg/L	2000~4000	2000~5000	2000~4000	600~5000	2000~3000	2000~5000
HRT, hr						
厭氧	8~12	1~2	0.5~1.5	0.0~0.3	—	1~2
缺氧	—	2~4	0.5~1.0	0.0~1.6	—	2~4
好氧	4~10	4~12	3.5~6.0	0.5~1.0	6	4~12
缺氧	—	2~4	—	0.0~0.3	2	2~4
好氧	—	0.5~1.0	—	0.0~0.3	—	—
沉澱	—	—	—	1.5~2.0	—	—
總時數	12~22	9.5~23.0	4.5~8.5	4.0~9.0	8	9~22
迴流污泥(%)	20~50	80~100	20~50	—	—	80~100
內部迴流(%)	—	400~600	100~300	—	—	100~600
厭氧迴流(%)	—	—	—	—	—	50~100
Stripper feed(%)	20~30	—	—	—	—	—
出流(%)	13~30	—	—	—	—	—
Stripper underflow(%)	10~20	—	—	—	—	—

表5 各種生物除磷脫氮系統之去除程度的比較

放流水質 處理程序	二級 處理 ^a	5mg/L BOD	5mg/L TSSc	硝化	10mg/L 硝酸氮	3mg/L 總氮 ^c	1mg/L 總氮 ^c	0.5mg/L 總氮 ^c
Phostrip	○	M	○	M	M		○	○
Modified Bardenpho	○	M	○	○		M	M	
A ₂ /O	○	M	○	○	○		M	
SBR	○	M	○	M	○	M	M	
相分離式氧化渠	○	M	○	M	M	M	M	
UCT	○	M	○	○	○		M	
活性污泥法	○	M	○	M				
延長曝氣(氧化渠)	○	M	○	○	M			
修正活性污泥法	○	M	○	M	M		M	
化學加藥							○	○

a.○：放流水符合標準，M：需要適當的設計及進流條件或三級過濾才能符合

b.BOD的TSS 20~30mg/L的出流

c.加入過濾程序

表6 各種生物除磷脫氮系統的比較

生物除磷 脫氮系統	優 點	缺 點
PHOSTRIP 法	1.可同時去除廢水中有機碳及無機氮、磷。 2.磷的去除效率高，可達到P<1.5mg/L 3.很容易與現有的活性污泥廠合併，在美國也有數個廠在使用。 4.磷的去除操作，不用靠BOD/P值來控制，操作具彈性。 5.石灰用量是比化學除磷法用量來的少。	1.系統較A ₂ O複雜。 2.必需添加化學藥劑，所以污泥量較A ₂ O多，成本也較大。 3.高溶氧的混合液迴流，防止磷的厭氧釋出。 4.石灰用量多寡，是一個問題。
Modified Bardenpho	1.可同時去除C、N、P。 2.脫硝及除磷時，直接利用廢水中的有機碳，不需外加碳源。 3.放流水的磷可小於1mg/L。 4.污泥產量是所有生物除磷系統中最少的 5.污泥磷含量高，可當作肥料。 6.總氮可處理到比其他的處理程序還低。 7.好氧槽的鹼度可由缺氧槽提供，因此可減少或不用鹼度的添加。 8.已經被廣泛的使用在南非，有大量的資料可用。	1.由於好氧槽直接流或迴流到缺氧槽，可能造成溶氧過高影響到脫硝效率。 2.需要添加化學藥劑，浪費成本且污泥量多。 3.槽數太多，泵也多，所以能量消耗大，佔地也大。 4.因槽數較多，所以比A ₂ /O法的體積大。 5.進流需要高的BOD/P值。 6.溫度效應在此程序尚未被了解。

表6 各種生物除磷脫氮系統的比較(續)

生物除磷 脫氮系統	優 點	缺 點
A ₂ /O法	1.可同時去除廢水中有機碳及無機氮、磷。 2.整個系統只有一個沉澱池，污泥完全混合，操作簡單且不產生化學污泥。 3.脫硝及除磷時，直接利用廢水中的有機碳，不需外加碳源。 4.部份碳源因脫硝作用消耗，因此污泥產量較一般活性污泥法少。 5.污泥磷含量高，可當作肥料。	1.脫氮與除磷所需的停留時間長短不同，且互相克制。 2.厭氧槽之厭氧菌由於栓塞水流的緣故，不易停留於厭氧槽中發揮其水解複雜有機碳的功能。 3.缺氧槽中的脫硝菌與好氧槽中的硝化菌亦因栓塞流的緣故，不易停留於槽中完全發揮其效用。 4.為使厭氧槽及缺氧槽之污泥懸浮，需要提供動力來攪拌，增加操作成本。 5.欲使好氧槽氨氮完全氧化為亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮，需要相當長的停留時間，以使有機碳先行氧化去除後，自營硝化菌才能完全發揮效用。
間歇式單一反應槽(SBR)	1.單槽處理，系統操作簡單。 2.系統的操作彈性，可依操作人員的需求而變。 3.集初沉、曝氣、終沉三功能於一槽，節省土地的需求。 4.由於單槽處理，所以管路系統趨於簡單。	1.處理流量較A ₂ /O法為小。 2.因延長曝氣的關係，所以上澄液SS高。 3.硝化菌與脫硝菌亦因栓塞流的緣故，所以不易停留於槽中完全發揮其水解複雜有機碳的功能。 4.由於脫氮的關係，污泥經常上浮而隨放流水流失，導致槽中MLSS異常下降。
相分離式 氧化渠	1.可同時去除C、N、P。 2.設備簡單，好操作。	1.佔地面積大。 2.硝化菌與脫硝菌亦因栓塞流的緣故，所以不易停留於槽中完全發揮其水解複雜有機碳的功能。
UCT法	1.可同時去除C、N、P。 2.終沉池迴流污泥到缺氧槽再迴流到厭氧槽，此法可提高脫硝效率和厭氧釋磷環境。 3.脫硝及除磷時，直接利用廢水中的有機碳，不需外加碳源。 4.部份碳源因脫硝作用消耗，因此污泥產量較一般活性污泥法少。 5.放流水的硝酸鹽濃度可達到零。 6.槽體積比Bardenpho稍少。	1.厭氧槽之厭氧菌由於栓塞水流的緣故，不易停留於厭氧槽中發揮其應有的功能。 2.厭氧槽之厭氧菌由於栓塞水流的緣故，不易停留於厭氧槽中發揮其水解複雜有機碳的功能。 3.要提供動力來攪拌，使厭氧槽及缺氧槽的污泥能懸浮。 4.大量的內部迴流，因此泵的能量消耗大，保養也複雜。 5.需要添加化學藥劑，浪費成本且汙泥量多。 6.進流需要高的BOD/P值。 7.溫度效應在此程序尚未被了解。

六、厭氧、缺氧及RBC活性污泥法氮、磷處理程序 之設計及操作

BOD、氮、磷之併同去除生物處理，在處理原理上其去除有其限界。因氮的去除必先硝化，而硝化需較高的MLSS濃度，也即SRT要較長，而磷的去除則需藉排泥以排除之，因之SRT不宜太長，否則將有高濃度的磷於水處理系統中，因之兩者之同時去除有其衝突性，以致其處理有其極限。

為改善上述之衝突性，將經由長期實驗提出厭氧、缺氧及RBC活性污泥法併同去除氮、磷之處理程序，並簡化其設施，以求經濟可行(如圖23)。

本程序乃將活性污泥法的硝化曝氣槽增置好氧RBC圓盤，則可在較短時間內達到完全硝化，改進A₂O法停留時間矛盾的問題。因一般硝化菌生長速率較慢且易流失，則以RBC圓盤作為微生物的著床，可解決栓塞流所導致的微生物流失問題，而同時提升氮、磷之去除效率。

本處理程序之優點：

- 1.可維持高濃度的厭氧好氧微生物群體於RBC圓盤上，以維持一定程度的處理效果。
- 2.以RBC圓盤生物膜處理有機污水可於較短的接觸時間內達到需求的效果。
- 3.藉RBC圓盤的旋轉使生物膜可自空氣中獲得氧氣呼吸，並得以將有機物氧化，減少曝氣量，節省動力費。
- 4.微生物族群種類多系統操作穩定，而且對於負荷變動的影響性較小。
- 5.將好氧RBC圓盤架設在活性污泥法的曝氣槽之上以替代後續的硝化槽，可使活性污泥的微生物較為穩定，防止污泥膨化的發生；並且可使污水中的有機物較快為微生物所利用，以增進後續的硝化反應使之能較完全地進行。
- 6.若系統崩潰，再恢復的時間短。
- 7.具有A₂O法的各種優點而無其缺點。

厭氧、缺氧及RBC活性污泥法為於 A₂O 法中曝氣槽中增置 RBC，因之在設計對A₂O法及RBC法兩者的特性需加充分瞭解，其處理流程如圖28。依據長期之實驗結果，彙整之。

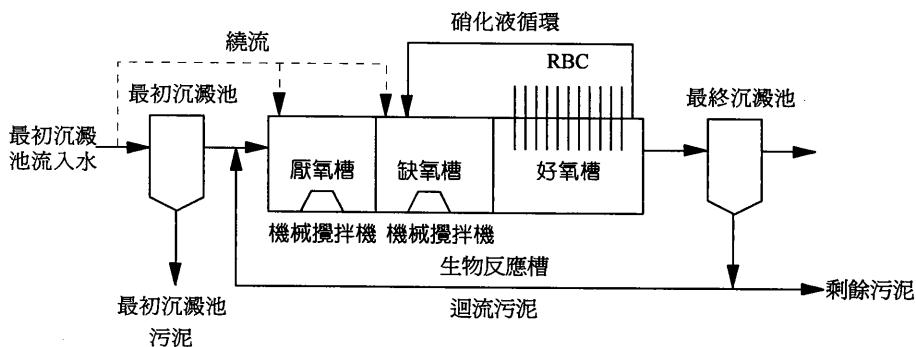


圖28 厭氧、缺氧及RBC活性污泥法處理流程

6.1 單元設計概要

6.1.1 設計條件

在一般都市污水之濃度下本處理程序可達到之處理效率為：

BOD 90%

總氮 60%以上

總磷 70%以上

1.水力停留時間

其各段之水力停留時間如次：

厭氧槽 1.5hr

脫氮槽 2~3hr

好氧槽 4~6hr

2.好氧槽BOD-SS負荷

以 $0.2\text{kg/kg MLSS} \cdot \text{d}$ 為宜。

3.好氧槽MLSS濃度

MLSS濃度以 $1,500\sim 2,000\text{mg/L}$ 為宜。

4.圓盤表面積

以流量負荷 $150\sim 180\text{L/m}^2 \cdot \text{d}$ 設計之。浸水率面積之40%。

5.循環水量及迴流污泥量

硝化液循環量為流入量的150%；迴流污泥量為流入量的50%。

6.1.2 各處理單元設施

1.厭氧槽

- (1)厭氧槽為確保厭氧狀態，應以能防止氣自水面溶入，而以機械攪拌為宜。
- (2)厭氧槽與脫氮槽間應分隔，以防逆流。
- (3)厭氧槽可分隔成2槽，並將好氧之迴流循環水配管至第2槽，可兼用做脫氮槽，以增進厭氧槽及脫氮槽之操作彈性。

2.脫氮槽

- (1)脫氮槽應同樣設置機械攪拌設施。
- (2)脫氮槽及好氧槽之間，應有一分隔壁，以防逆流確保脫氮槽之缺氧狀態。
- (3)脫氮槽可分隔成兩槽，將好氧槽出流水配管至前槽，以防止循環水發生短流，而未能充分脫硝。
- (4)進流水可配管至脫氮槽之前槽，以備脫硝所需碳源不足時，提供適量碳源(生污水)。

3.好氧槽及RBC

- (1)散氣設備，宜為細氣泡散氣設備，以減低激烈攪拌，防止對RBC軸造成負擔。
- (2)好氧槽以水平流為宜。
- (3)應防止發生短流，以利磷之充分攝取。
- (4)RBC之面積以處理水量 $150 \sim 180\text{L}/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ 設計為宜，以確保充分硝化。
- (5)本法由於生物膜較薄，故圓板間的間隙可較小，惟形狀及材質可與一般RBC同。
- (6)旋轉圓板之設置，旋轉軸及好氧槽之旋迴流方向以與進流水相垂直為宜。
- (7)旋轉圓板的載重，可以圓板每 m^2 以2kg生物膜載重考慮之，並檢討是否加蓋所需載重。
- (8)由於曝氣旋迴流的影響，軸支承以機械強度應加充分考慮。

4. 最終沈澱池：最終沈澱池，應滿足下列條件：

- (1) 應能防止磷的再釋出，故污泥停留時間宜短，應設置整流壁以增進污泥之沈降性，並能迅速排泥。
- (2) 沈降後的污泥，於刮泥時應防止上浮而排除之，以減少磷的釋出而移至上澄水中。

5. 循環設備：

- (1) 為於好氧槽之流出端，將硝化混合液循環至脫氮槽，而應設置循環泵及配管設備。
- (2) 循環設備的循環量，以流入水量的1.5倍為宜。
- (3) 循環水系統上應有調換閥，以循環引入脫氮槽或厭氧槽之後段之配管。

6. 迴流污泥設備

- (1) 迴流污泥為迴流入厭氧槽前端。
- (2) 為防止污泥上浮，迴流污泥量以連續且具迴流流入水量的50%為宜。

7. 污泥處理系統：本處理為防含高濃度磷之剩餘污泥於處理過程中因腐敗而導致磷的釋出，而增加水處理系統中磷的負荷，剩餘污泥必須單獨在好氧狀態下以機械濃縮或浮除濃縮後隨即進行脫水，如圖29。

6.2 操作管理

6.2.1 厭氧槽

1. 機械攪拌設備以能維持ORP在-200mv以下為宜。
2. 為達到磷的充分釋出，以能使溶解磷的濃度達10mg/L以上的水力停留時間設定之。

6.2.2 脫氮槽

1. 以能達到脫氮所需C/N比操作之。
2. 脫氮槽之攪拌以能防止短流為宜。

6.2.3 好氧槽

1. 以能達到充分硝化及去除磷之停留時間設定之。

2. 氧消耗速率大的活性污泥，其磷的釋出速度較快，故為減少最終沈澱池之磷的再釋出，應於氧消耗速度較低時流出為宜。
3. 為防止於最終沈澱池再釋出磷，出口端之DO以高者為宜。但若DO太高，則會影響循環水至脫氮槽無法充分脫氮，故操作時應掌握其適當值。
4. 由於RBC生物膜之形成所需時間較長，故應維持其正常狀態，於假設BOD-SS負荷在0.2kg BOD/kg MLSS · d下設定MLSS濃度，則圓板上之硝化菌呈優勢，而維持其好氧槽的環境。

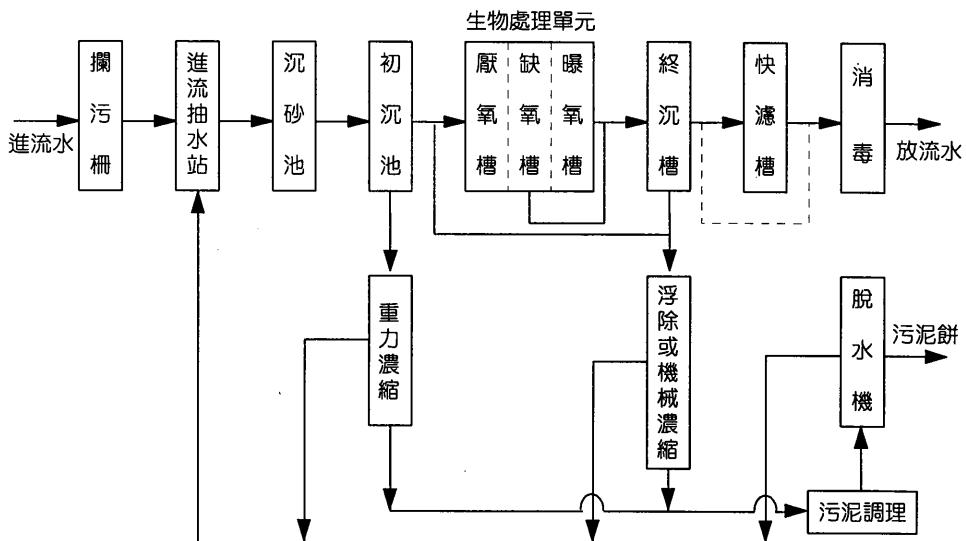


圖29 氮、磷去除污水處理廠流程例

6.2.4 MLSS

以維持BOD-SS負荷0.2kg BOD/kg MLSS · d之下，考慮下列項目設定之：

1. 確保可達充分硝化的SRT。
2. 在防止於最終沈澱池再自活性污泥中釋出磷或脫氮而污泥上浮之條件下，適當維持污泥堆積狀態。
3. 同時考慮流入水之水質及水溫。

6.2.5 循環水量

循環水量以流入量的150%為範圍，愈高脫硝率愈高，含迴流污泥約200%為適當。

6.2.6 最終沈澱及迴流污泥

- 1.含高濃度磷的活性污泥，應防止其以SS流出。
- 2.應防止污泥在最終沈澱池長時間的堆積而以迴流污泥連續迴流之。
- 3.迴流污泥量，以不超過的硝酸、亞硝酸氮引至厭氧槽，造成阻礙磷的釋出之條件下，以多量為宜。

6.2.7 流入水量

- 1.為防止厭氧槽內高濃度之磷的短流，流入水量較穩定為宜。
- 2.為使厭氧槽能處於厭氧條件，流入水之DO以不高為宜，若置有調勻池，則以低溶氧攪拌或機械調勻為宜。
- 3.流量變化大會影響最終沈澱池之沈澱，而造成流出水SS提高，相對的磷濃度亦高。

6.2.8 污泥處理

本處理方法之磷的去除，及藉排除蓄積磷的污泥以去除之，但若剩餘污泥呈厭氧，則磷會再釋出，故污泥之處理，必須藉下列改善之。

- 1.剩餘污泥不可以再投入最初沈澱池，否則會造成磷的再釋出，增加流入水磷之濃度，致無法充分去除磷。
- 2.剩餘污泥應在短時間內濃縮脫水之，以離心濃縮或浮除濃縮為宜。
- 3.當污泥處理過程釋出高濃度磷於水中時，可藉石灰或鐵鹽以凝聚沈澱去除之，以防止多量的磷迴流至水處理系統中。
- 4.若以間歇性進行脫水，則污泥不宜抽出，以防厭氧，而宜於水處理系統中迴流避免之。

6.2.9 磷去除不正常之對策

磷去除之不正常原因及對策如表7。

6.2.10 氮去除不正常之對策

氮去除不正常之原因及對策如表8。

表7 磷去除不良之原因與對策

現象	原因		對策
	本質	程序	
厭氧槽中磷未析出	厭氧槽未保持厭氧狀態	流入水中之DO或硝酸性氮濃度偏高	防止雨水或地下水大量流入
		流入水的跌降、攪拌或循環水DO過高	降低攪拌強度，避免流入水或污泥自由跌降。隔壁的開口面積減小，水面開口都封閉。
		迴流污泥中DO及硝酸性氮的流入	維持迴流污泥SS濃度在9,000mg/L以下
厭氧槽中磷雖有析出，但好氧槽末端的PO ₄ ⁻ -P濃度偏高	好氧槽中磷的吸附效果不良	好氧槽HRT不足	增大好氧槽容積
		MLSS濃度偏低	減少排泥量，提高MLSS濃度
		厭氧槽中磷析出量過多，磷濃度過高	減小厭氧槽容量，增大好氧槽容量
	生物反應槽流入水磷濃度偏高	迴流水磷負荷過大	防止污泥處理程序中之磷再析出，以減少磷的負荷
		迴流水短時間流入，造成尖峰濃度	同上，設置迴流水貯存槽，以均勻化迴流之負荷
		DO濃度偏低	增大送風量，提升DO濃度
好氧槽末端之PO ₄ ⁻ -P濃度雖低，處理水PO ₄ ⁻ -P濃度仍高	最終沉澱池的污泥再析出磷所造成影響	最終沉澱池污泥積厚，貯留過久	增加排泥，降低污泥界面高度
		基質之去除不充分，磷容易從污泥中再析出	增大好氧槽容量，提高好氧槽DO之濃度

表8 氮去除不良之原因與對策

現 象	原 因		對 策
	本 質	程 序	
好 氧 槽 末 端 NH ₄ -N 及 NO ₂ -N 仍 高	未充分硝化	曝氣槽進流水，BOD偏高	降低BOD-SS負荷
		好氧槽DO偏低	調節DO至2.0mg/L，但不宜太高，以防循環水影響脫硝
		水溫偏低	宜維持20~35°C
		硝化作用消耗鹼度致pH偏低	調整pH維持8.0左右
		MLSS濃度偏低，致BOD-MLSS負荷過高	宜調節BOD-SS負荷在0.2kg BOD/kg MLSS · d以下，減少廢棄污泥
脫 硝 槽 出 口 端 NO _x -N濃度高	未充分脫硝	反應時間不足	流量變化大，致反應時間不足 調整流量，均勻反應槽之反應時間和負荷
		進流量變化大	調整進流量
		脫硝槽短流，未充分硝化	脫硝槽以隔板分隔，防止循環水短流
		碳氮比不足，影響脫硝之碳源	以生污水注入，維持COD/T-N比在4.5以上
		脫硝槽未處於缺氧狀態，DO偏高	硝化液循環量偏高 控制循環量在1.5Q左右 循環硝化液之DO濃度偏高 控制曝氣槽之DO，以達可充分硝化，但不影響脫硝槽之DO偏高

七、結語

BOD、氮、磷之併同生物處理程序，其原理極為複雜，而處理方法多，在選擇應用時，應充分考慮污水性質，流量及環境條件，處理程度及操作問題，尤其是整體系統性，包括污泥之處理問題，皆都應於設計時充分考量之。

參考文獻

- 1.蘇昭郎、歐陽嶠暉，氮、磷生物處理技術之回顧與前瞻，國立中央大學環境工程學刊，第一期，82年10月。
- 2.劉久豐，厭氧、好氧、RBC及活性污泥法併同去除BOD、氮、磷之動力學特性及最佳操作參數之研究，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，82年6月。
- 3.張耀泉，A₂/O法添加固定化硝化菌擔體併同去除碳、氮、磷之基礎研究，國立中央大學環境工程學研究所論文，83年6月。
- 4.曾建勳，厭氧、好氧、RBC活性污泥法最佳化操作之研究，國立中央大學環境工程研究所碩士論文，83年6月。
- 5.郭瓊梅，生物處理系統去除都市污水中營養鹽之模擬分析，國立中興大學碩士論文，85年1月。
- 6.歐陽嶠暉，污水處理水再利用過程中水質變化之研究，國立中央大學環境工程研究所，85年。
- 7.Kazuhiro Tanaka, Hiroyoshi Emori "Development Biological Nutrient Control in Japan", The 2nd Japan Workshop on Integrated Water Quality Management, 1993.
- 8.Metcalf & Eddy, Wastewater Engineering, 3th edition.
- 9.WEF Manual No.8, Design of Municipal Wastewater Treatment Plants.
- 10.安齊業，ハイブリッド生物處理法にすそ窒素，リンの同時除，日本東京都下水道局技術調査年報，1986。
- 11.日本下水道協會，高度處理施設設計マニュアル(案)，平成6年。