

# 接觸曝氣法預先處理受污染自來水原水之研究

應 堅 聖 \*

歐陽嶠暉 \*\*

## 一、前 言

在台灣地區近年來由於經濟發展快速，工商業發達，工廠林立，再加上人口增加，人口聚居由都市而擴延至郊區，甚至河川上游，更由於污水下水道的缺失，使得家庭污水、工業廢水、畜牧養殖廢水，大多未經處理即逕行排入河川，造成河川嚴重污染。根據台灣省環境保護局75年資料顯示，全省45條主要河川，主要河川21條中7條未受污染，次要河川24條中11條未受污染，其餘均受到某程度的污染；另外本省多處河川自來水水源之氨氮含量超過 $0.5 \text{ mg/l}$ ，甚至達 $4 \text{ mg/l}$ ，有些地方年平均達 $2 \text{ mg/l}$ ，生化需氧量（BOD值）亦達 $4 \text{ mg/l}$  (1,2)。

自來水原水受污染問題不僅使水質變壞產生臭味，且會造成淨水處理的困擾，使得濾床阻塞，濾程縮短等，直接或間接造成水處理成本的增加，而國內水廠大多採用預氯處理，雖可將氨氮去除，然原水中大量有機物有可能與氯反應，產生三鹵甲烷之致癌性物質 (3)；若原水直接以混凝沈澱處理，除增加藥劑使用量，提高處理成本外，仍無法完全去除臭味，造成淨水處理上之一棘手問題，故不論為了減輕淨水處理因困擾，抑或降低三鹵甲烷的生成，原水的預先處理是不可或缺的。

本研究即以接觸曝氣法於淨水廠現場進行實驗研究，以探討其最適處理效果及替代預先加氯之可行性，並作為淨水廠克服原水受污染問題之參考。

## 二、文獻回顧

自來水水源受污染所造成的問題計有 (4)(5)：

- (1)增加藥劑使用量，如氯、混凝劑、消石灰等，導致淨水費的提高。
- (2)干擾淨水處理程序，如藻類大量繁殖造成混凝沈澱的阻害。
- (3)產生臭氣。

\* 國立中央大學土木工程研究所碩士

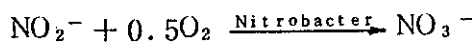
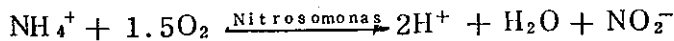
\*\* 國立中央大學土木工程研究所教授兼所長

(4)飲水安全性，如重金屬、農藥等毒性物質，或致癌性之三鹵甲烷化合物。

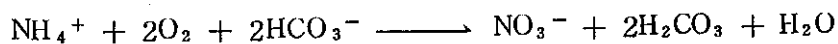
根據文獻水源水質惡化的處理對策有臭氧、活性碳、臭氧活性碳併用處理、紫外光處理等物化處理法，但這些方法可能生成不利健康之中間生成物，且處理成本昂貴，較不適用，而以生物處理程序做為受污染水源之預先處理，較具經濟效益。日本鑒於其水源日益污染的問題，並考慮本身之地理、經濟、社會、技術等諸條件，積極開發新的生物膜處理技術，最後發展出生物接觸曝氣法<sup>(6,7,8)</sup>、旋轉圓盤法<sup>(8,9)</sup>、流動床法<sup>(9)</sup>等各式固定生物膜法，以處理受高度污染之原水。

蜂巢管接觸曝氣法為日本小島貞男博士於1973年所開發出來，是為預先處理東京都玉川自來水原水的一種生物處理方法。<sup>(6)</sup>在日本經由十多年之探討，本法逐漸被應用於其它場合，包括三級處理、家庭污水處理及一些工業廢水的二級處理<sup>(10-14)</sup>，且均已獲致良好的實績。

影響接觸曝氣法處理效果之因素有接觸材料性質、風量、循環流速、水量負荷、氨氮負荷、溫度等<sup>(15-18)</sup>，以生物處理方法處理似河川水含低濃度之有機物質，主要是藉在低濃度有機物下，硝化菌有足夠能力和異營菌競爭，以致消化菌逐漸佔優勢，生成硝化作用，而達到去除氨氮之目的，一些有機物亦可同時被去除。自然界中之硝化作用主要是靠 *Nitrosomonas* sp. 及 *Nitrobacter* sp. <sup>(19)</sup>，先經由 *Nitrosomonas* 將氨氮轉化為亞硝酸鹽氮，再藉由 *Nitrobacter* 氧化為硝化鹽氮，可以下二式表之：



硝化反應所產生之氫離子，必須藉由水中碳酸鹽系統加以中和，如下式：



由上式可知每氧化  $1 \text{ mg}/\ell$  之  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  為  $\text{NO}_3^-$  所需消耗之鹼度量為  $7.14 \text{ mg}/\ell$  as  $\text{CaCO}_3$ ，而影響硝化作用的因素尚包括了溶氧、pH、溫度、有機負荷及氨氮和亞硝酸鹽氮濃度等<sup>(19,20)</sup>。

### 三 實驗設備與方法

#### 3.1 實驗設備

本實驗設備計有反應槽、接觸濾料、散氣管、空氣壓縮機、抽水機等，其規格如下

##### (1)反應槽

材質：鐵板。

尺寸：長 1.2m ，寬 0.6m ，高 3.5m

，詳細規格如圖 1. 所示。

數量：3 座。

(2)接觸濾料

日本本州產業製造之成型蜂巢管濾料。

尺寸：600mm × 600mm ×100 mm ；

比表面積 326.16 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> 。

通水孔徑：13 mm 。

數量：9 unit(每座填充 3 unit)。

容積：每座蜂巢管容積 1.08 m<sup>3</sup> 。

(3)散氣管

日本 Tsut sunaka 塑膠工業製造之 SD  
100 型

材質：PVC & Neoprene 。

尺寸：88 mm φ × 65 mmH 。

散氣量：10l/min 個。

數量：6 個，每座 2 個。

(4)空氣壓縮機

台灣復盛牌所製之空氣壓縮機，機型 FSTA 80，馬力 5HP，數量 2 台，1 台備用。

(5)渾水抽水機

台灣東元電機所製之抽水機，機型 BEEZ. BR，馬力 ¼ Hp，數量 2 台，一台備用，實驗後期流量變更時，將 2 台抽水機均改爲 1 Hp，採用光泉 1 Hp 單向抽水機。

(6)其它。

### 3.2 實驗方法

本實驗爲模擬原水之實際狀況，並考慮污染較嚴重地區，故選擇於六堵自來水廠原水分水槽附近，設置模型廠三座，內部填置蜂巢管，直接引入自來水原水進行循環曝氣，藉濾材表面增殖之生物膜進行接觸曝氣法長期實驗，探討其對氨氮及有機物的處理特性，實驗流程如圖 2 所示。

(1)操作條件

實驗初期三組模型廠操作條件之濾料容積負荷 5、12、20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>·d 時，相當於流量

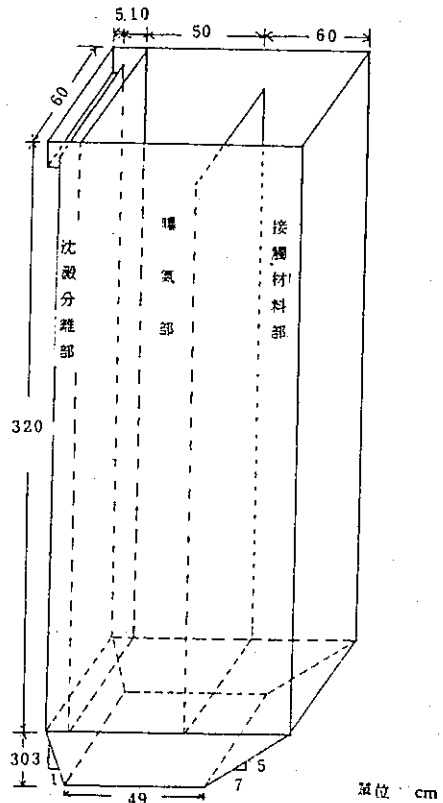


圖 1. 接觸曝氣法模型廠透視圖

分別為 3.75、9 及 15  $l/min$

，實驗後期操作條件變更爲 12、20、30  $m^3/m^3 \cdot d$ ，相當於流量爲 9.15、22.5  $l/min$ 。

## (2)分析項目及方法

本實驗爲一連續性操作，故每天在一定之時間取樣分析，主要分析項目包括溫度、pH、濁度、鹼度、溶氧、BOD、COD、氨氮、亞硝酸鹽氮、硝酸鹽氮及需氧量，分析方法參照美國標準水質檢驗法第16版。

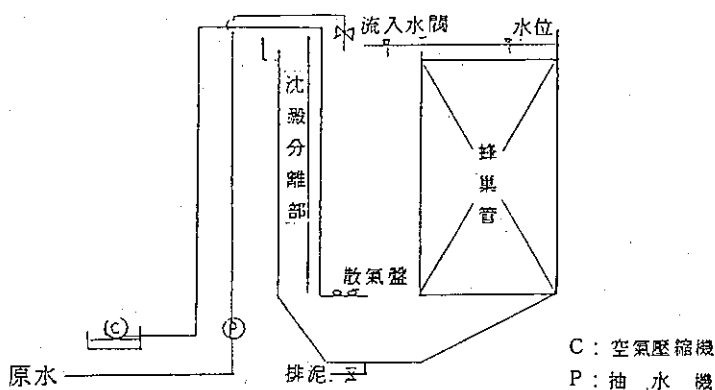


圖 2. 接觸曝氣法模型廠流程圖

此外爲了解處理後之污泥產量，亦不定期分析之，分析方法爲先將污泥排盡，隔天同一時間再將污泥排出，測其體積及分析 TS, TVS，以得一天所產生之污泥量。

## 四 結果與討論

本實驗自 1986 年 8 月中旬開始進水進行馴養，流量負荷分別控制在  $20m^3/m^3d$ 、 $12m^3/m^3d$  及  $5m^3/m^3d$ ，自 1986 年 9 月開始採樣分析至 1987 年 3 月止，再將流量負荷依次調爲  $30m^3/m^3d$ 、 $20m^3/m^3d$  及  $12m^3/m^3d$ ，繼續進行實驗至 1987 年 8 月止。

鑒於台灣地區自來水之淨水設施，多爲混凝沈澱、快濾、消毒程序，也即其原水應合乎水體水質分類之二級公共給水水質標準，故以該標準爲討論比較對象。

### 4.1 原水及處理水水質之分析

根據實驗期間之水質分析資料，原水質  $pH = 6.0 \sim 7.2$ ，溶氧 =  $0.2 \sim 8.6mg/l$ ，濁度 =  $5.6 \sim 81NTU$ ， $BOD = 0.3 \sim 5.6 mg/l$ ， $COD = 3.14 \sim 18.6 mg/l$ ，氨氮 =  $2.4 \sim 9.4 mg/l$ ，亞硝酸鹽氮 =  $0.002 \sim 0.442 mg/l$ ，硝酸鹽氮 =  $2.06 \sim 0.55 mg/l$ ；且在不同負荷下之處理水， $pH$  均可維持在 7 左右，而溶氧量亦可保持在  $6.6 mg/l$  以上，顯示可達河川一級公共給水之水質標準 ( $pH = 6.5 \sim 8.5$ ， $DO = 6.5 mg/l$  以上)。原水及處理水之 BOD、氨氮值，在不同濃度範圍下所佔之百分比示如圖 3 及圖 4，對 BOD 而言，由圖 3 可知欲達二級公共給水之水質標準 ( $BOD < 2mg/l$ ) 時，原水及四組不同流量負荷下之處理水 ( $30 m^3/m^3d$ ， $20 m^3/m^3d$ ， $12m^3/m^3d$ ，

5m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d)，其及格率分別為32%、86%、96%、100%、100%。對氨氮而言（圖4）欲達二級公共給水之水質標準（NH<sub>3</sub>-N < 0.3 mg/l），原水及處理水及格率分別為9.0%，53.8%，64%，94.3%，100%，由此可知以本法處理時，可提高達到公共給水原水標準之比例，且流量負荷愈低，提升之比例愈高。

綜合整理原水及處理水之水質狀況，處理效果列如表1，知以本法處理當原水氨氮=0.122~6.552 mg/l，COD=3.02~27.32 mg/l，BOD=0.3~6.3 mg/l，濁度=5.2~81 NTU時，對於氨氮、BOD、COD及濁度之去除率，當流量負荷控制在5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d時，其平均去除率氨氮=92.0%，BOD=91%，COD=83.2%，濁度=85%，且在此負荷下處理水水質均可達到二級公共給水之水質標準，可減低後續傳統淨水處理的操作負荷。

#### 4.2 不同流量負荷之處理特性

由表1.知隨流量負荷之增加，處理水水質愈差，其濁度、BOD、COD、氨氮之去除率亦隨之降低。主要因流量負荷增加時，其停留時間縮短，相對的未能充分反應，致使去除效果降低，其關係如圖5所示，由圖中可看出以氨氮之去除效果最高，流量負荷5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d增加至30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d，去除率由92.0%降至71%，其次為BOD、濁度及COD，可見本法之去除機構仍以硝化作用為主。此外，由圖中可看出，在低流量負荷下其去除效果差異並不大，此乃因在5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d之流量負荷下，停留時間長達4.8小時，除硝化外，一些少量的異營菌有足夠的時間以氧化水中微量的有機物，但流量負荷增加時，氨氮及有機物的去除效果之差異則漸明顯。

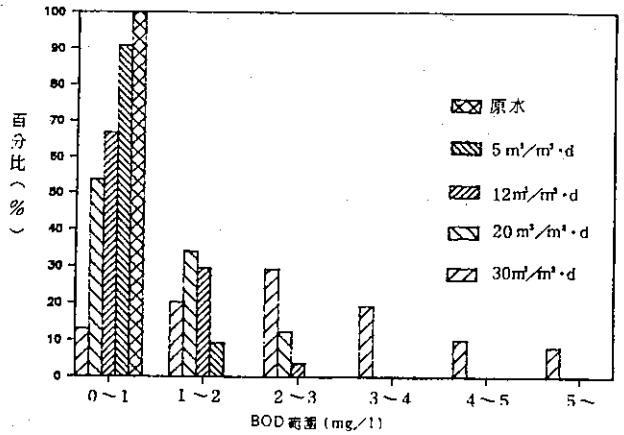


圖3 接觸曝氣法原水及各不同負荷下處理水之BOD水質百分比

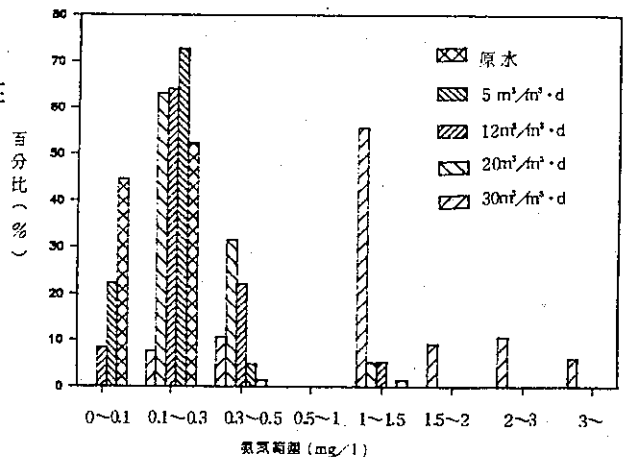


圖4 接觸曝氣法原水及各不同負荷下處理水之氨氮水質百分比

表 1 接觸曝氣法處理之水質分析

項 目	原水及各負荷之水質及去除率											
	30			20			12			5		
流量負荷 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·d	30			20			12			5		
流量 l/min	22.5			15			9			3.75		
停留時間 (hr)	0.8			1.2			2			4.8		
處理水質	原水	處理水	去除率%	原水	處理水	去除率%	原水	處理水	去除率%	原水	處理水	去除率%
pH	7.2~8.0 (6.91)	7.4~6.9 (7.08)		7.2~6 平均(6.91)	7.45~6.62 (7.13)		7.2~6 (6.91)	7.55~6.55 (7.25)		7.2~6.59 (6.91)	9.29~6.65 (7.32)	
硬度(mg/l)	24.2~81	70~21.8 (41.63)		96~20 (48.1)	76~19.2 (40.5)		96~20 (48.1)	72~19 (39.2)		96~20 (48.1)	71~18 (37.9)	
油質(mg/l)	0.6~0.2	9.5~2.9 (7.3)		6.4~0.2 (5.8)	9.7~3.4 (7.88)		6.4~0.2 (5.8)	9.8~4.1 (8.16)		8.5~1.9 (5.8)	10~6.9 (8.52)	
濁度(NTU)	5.6~81	50~1.2 (9.96)	84~12.5 (54.3)	81~5.2 (23.2)	66~1.1 (10.6)	31~89 (58)	81~5.2 (23.2)	58.5~0.9 (5.74)	9.5~96.3 (77.1)	81~5.2 (23.2)	27~0.8 (3.45)	59.4~96 (85)
BOD(mg/l)	5.6~0.3	2.6~0 (1.1)	0~100 (48.2)	6.3~0.3 (2.7)	2.9~0 (0.87)	0~100 (65)	6.3~0.3 (2.7)	2~0 (0.495)	26.3~100 (81)	6.3~0.3 (2.7)	0.95~0 (0.23)	31.6~100 (91)
COD(mg/l)	18.6~3.14	13.73~0.42 (7.28)	7.4~100 (41.3)	27.3~3.0 (11.3)	81.4~0.78 (12.0)	31~100 (0.48)	27.3~3.0 (11.3)	15.1~0 (3.37)	0~100 (70.1)	27.3~3.0 (11.3)	6.9~0 (1.83)	0.39~100 (83.2)
氮量(mg/l)	9.4~2.4	1.15~0.115 (0.3)	48~83 (71)	6.55~0.12 (1.29)	0.92~0.011 (0.249)	45~94 (77)	6.55~0.12 (1.29)	0.45~0 (0.15)	40~100 (86.3)	6.55~0.12 (1.29)	0.64~0 (0.11)	69~100 (92)
亞硝酸鹽氮 (mg/l)	0.002~0.442	0.087~0.009 (0.057)		0.619~0.004 (0.177)	0.222~0.004 (0.047)		0.619~0.004 (0.177)	0.122~0.0018 (0.019)		0.619~0.004 (0.177)	0.039~0.0014 (0.012)	
硝化氮 (mg/l)	2.06~0.55	3.16~0.77 (1.73)		2.9~0.37 (1.31)	7.2~0.42 (2.31)		2.9~0.37 (1.31)	7.3~0.46 (2.62)		2.9~0.37 (1.31)	7.35~0.47 (3.35)	
實驗日期	1987年4月~8月			1986年9月~1987年8月			1986年9月~1987年3月					

### 4.3 不同氮負荷之處理特性

將本實驗分析之原水中氮濃度的資料，劃分為六個部份，在不同流量負荷下，將其相對應的氮濃度平均值，換算成氮負荷，且每個部份相對應的氮去除率及處理水氮濃度亦求其平均值，另求出每部份的硝化反應速率  $V_r$  (亦即單位面積之氮去除量)，其結果示如表 2。

#### (1) 氮負荷與氮去除率之關係

根據表 2，在同一流量負荷下，氮負荷與去除率之關係如圖 6 所示，由圖中可知在流量負荷較低之情況下 (5, 12

$m^3/m^3 d$ )，其氮負荷範圍較小 (1.4 ~ 24.1  $g/m^3 d$ , 3.79 ~ 57.7  $g/m^3 d$ )，在此負荷範圍內氮去除率隨氮負荷之增而增加，且去除率均可在 82% 以上，最高達

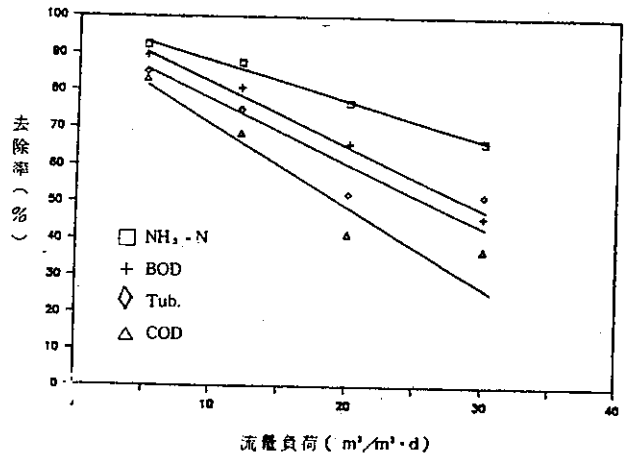


圖 5 接觸曝氣法流量負荷與去除率之關係

表2 接觸曝氣法各負荷條件下氨氮濃度之處理分析表

氨氮濃度範圍 (mg/l)	平均氨氮濃度 (mg/l)	30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·d				平均氨氮濃度 (mg/l)	20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·d				12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·d				平均氨氮濃度 (mg/l)	5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ·d			
		氨氮負荷 (g/m <sup>3</sup> ·d)	處理水氨氮濃度 (mg/l)	氨氮去除率 (%)	硝化速率 (g/m <sup>3</sup> ·d)		氨氮負荷 (g/m <sup>3</sup> ·d)	處理水氨氮濃度 (mg/l)	氨氮去除率 (%)	硝化速率 (g/m <sup>3</sup> ·d)	氨氮負荷 (g/m <sup>3</sup> ·d)	處理水氨氮濃度 (mg/l)	氨氮去除率 (%)	硝化速率 (g/m <sup>3</sup> ·d)		氨氮負荷 (g/m <sup>3</sup> ·d)	處理水氨氮濃度 (mg/l)	氨氮去除率 (%)	硝化速率 (g/m <sup>3</sup> ·d)
0.12 0.47	0.42	12.6	0.22	0.62	0.026	0.31	6.2	0.12	0.59	0.012	3.79	0.06	0.82	0.01	0.281	1.40	0.028	0.91	0.004
2.52 0.99	0.76	22.5	0.28	0.63	0.048	0.76	15.2	0.17	0.77	0.039	9.15	0.11	0.85	0.026	0.77	3.84	0.073	0.91	0.012
1.01 1.49	1.25	35.3	0.31	0.73	0.091	1.25	25.0	0.26	0.79	0.065	15.1	0.15	0.88	0.044	1.25	6.29	0.095	0.93	0.019
1.52 1.97	1.70	43.9	0.38	0.74	0.125	1.74	34.8	0.35	0.80	0.102	28.9	0.195	0.89	0.062	1.74	8.90	0.149	0.92	0.027
2-3	2.10	65.13	0.46	0.78	0.163	2.41	48.2	0.40	0.83	0.132	28.9	0.229	0.89	0.085	2.41	12.30	0.195	0.92	0.037
3-	-	-	-	-	-	4.8	96.0	0.57	0.87	0.277	57.7	0.25	0.94	0.179	4.80	24.1	0.159	0.96	0.076
1987年4月~8月						1986年9月~1987年8月						1986年9月~1987年3月							

96%。而在流量負荷較高之情況下(20 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d)，氨氮負荷範圍亦較大(6.2~96 g/m<sup>3</sup>d, 12.6~65.13 g/m<sup>3</sup>d)，由圖中可知，當氨氮負荷增加至50g/m<sup>3</sup>d以上時，氨氮去除率已有逐漸降低之趨勢，去除率最高只達74%，故以本法處理時，氨氮負荷在50 g/m<sup>3</sup>d以上時，硝化菌可能已無法適應。

(2) 氨氮負荷與處理水氨氮濃度之關係

根據表2，在同一流量負荷下，氨氮負荷與處理水氨氮濃度之關係可以圖7表示，由圖中可知，處理水氨氮濃度隨氨氮負荷之增加而增加，在流量負荷5 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d及12 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d之情形下，氨氮負荷影響較小，隨氨氮負荷之增加，處理水氨氮濃度上升趨勢較小；在流量負荷20m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d及

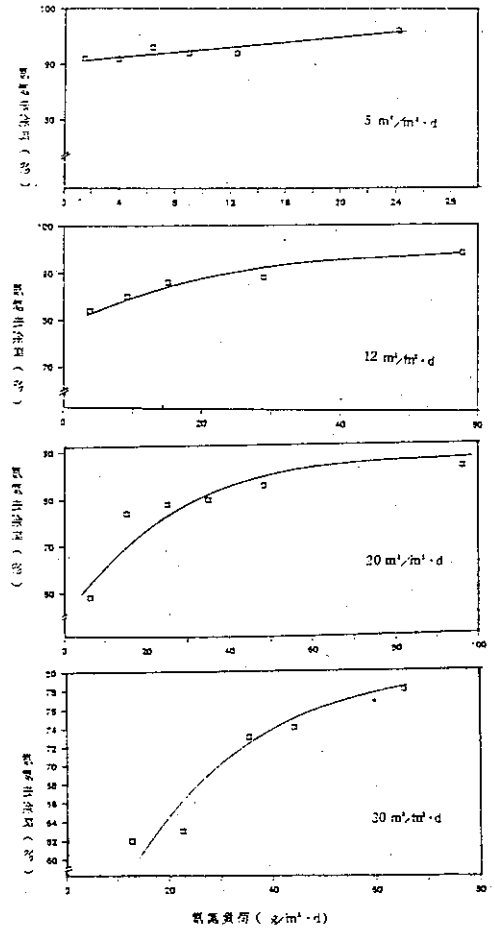


圖6 接觸曝氣法在不同流量負荷下氨氮負荷與氨氮去除率之關係

30 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d 之情形下，此時氨氮負荷影響較大，處理水氨氮濃度隨氨氮負荷之增加呈一線性關係。

綜合圖 7 可知，欲使處理水氨氮濃度達到二級公共給水之水質標準 (NH<sub>3</sub>-N < 0.3mg/l)，氨氮負荷以小於 30 g/m<sup>3</sup>d 為宜。

(3)處理水氨氮濃度與硝化速率 Vr 之關係  
硝化速率 Vr 可以下式表之：

$$V_r = Q/Aw(C_o - C_e) \dots\dots\dots(1)$$

式中 Aw : 接觸生物膜面積 = 326.16 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>。

Q : 流入水量 (m<sup>3</sup>/day)

在不同流量負荷下，硝化速率 Vr 與處理水氨氮濃度 Ce 之關係，整理於表 3 及圖 8。

由圖 8 可知，在同一流量負荷下，當處理水濃度愈高，其硝化速率愈大，Vr 與 Ce 之冪次係數為 1.32 ~ 2.56，由前節可知當處理水氨氮濃度 Ce 愈高，相對的其氨氮負荷高，原水氨氮濃度 Co 高，故使其單位面積去除量多。當原水氨氮濃度已知時，由圖 8 可預測在不同流量負荷下，其處理水氨氮之濃度亦可求出欲使處理水氨氮濃度為 0 時，所需之硝化速率。

由上述可知流量負荷、原水氨氮濃度影響單位面積氨氮去除量甚大，將實驗期間中不同的原水氨氮濃度、負荷流量與其相對應的氨氮去除量導出如下之關係式：

$$L_r = 3.903 \times 10^{-3} H_L^{0.852} C_o^{1.076} \quad R^2 = 0.9948 \dots\dots\dots(2)$$

式中 Lr : 單位面積氨氮去除量 (g/m<sup>2</sup>d)

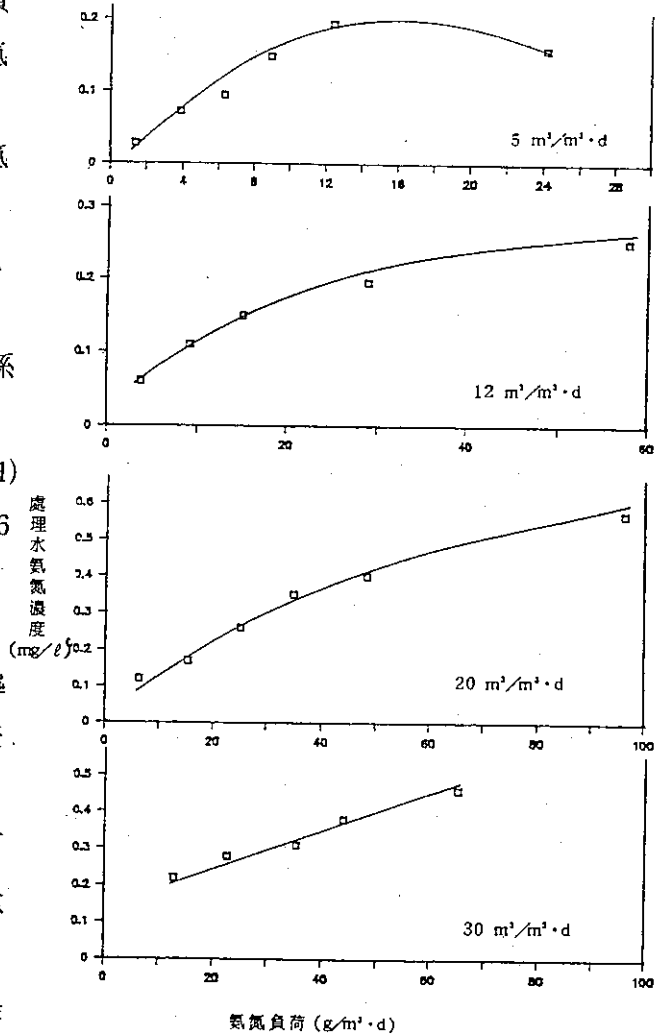


圖 7 接觸曝氣法不同流量負荷下氨氮負荷與處理水氨氮濃度之關係

表 3 接觸曝氣法各流量負荷下之硝化速率

流量負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d)	30	20	12	5
流量 (m <sup>3</sup> /day)	32.4	21.6	12.96	5.4
硝化速率 Vr (g/m <sup>2</sup> ·d)	Vr=1.38Ce <sup>1.32</sup>	Vr=0.75Ce <sup>1.56</sup>	Vr=1.19Ce <sup>1.32</sup>	Vr=0.44Ce <sup>1.32</sup>

Co : 原水氨氮濃度 (mg/l)。

#### 4.4 不同有機物負荷之處理特性

將實驗結果中BOD濃度的資料，劃分為六個部份，在不同流量負荷下，將其相對應的BOD濃度平均值，換算成BOD負荷，且每部份相對應的BOD去除率及處理水BOD濃度平均值，結果如表4所示。

##### (1) BOD負荷與BOD去除率之關係

根據表4在同一流量負荷下，BOD負荷與BOD去除率之關係如圖9所示。由圖中顯示在流量負荷為 $5\text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ 操作條件下，其BOD負荷為 $3.65\text{ g}/\text{m}^3\text{d} \sim 28.8\text{ g}/\text{m}^3\text{d}$ ，隨BOD負荷增加，BOD去除率亦稍有增加，且負荷在 $10\text{ g}/\text{m}^3\text{d}$ 以上時，BOD去除率均可在85%左右，同樣的流量負荷在 $12\text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ 及 $20\text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ 時，亦具有相同之趨勢。

當流量負荷提高至 $30\text{ m}^3/\text{m}^3\text{d}$ 時，相對應的BOD負荷高達 $16.5\text{ g}/\text{m}^3\text{d} \sim 168\text{ g}/\text{m}^3\text{d}$ ，隨BOD負荷增加，BOD去除率增加之趨勢較為明顯，因在高BOD負荷下，更有助於異營菌的生長，但整體而言，其

BOD去除率仍低

，最高只有54%

，可見以本法處理

自來水原水時

，因原水BOD濃

度低 ( $< 5.6$

$\text{mg}/\text{l}$ )，主要

仍為硝化作用。

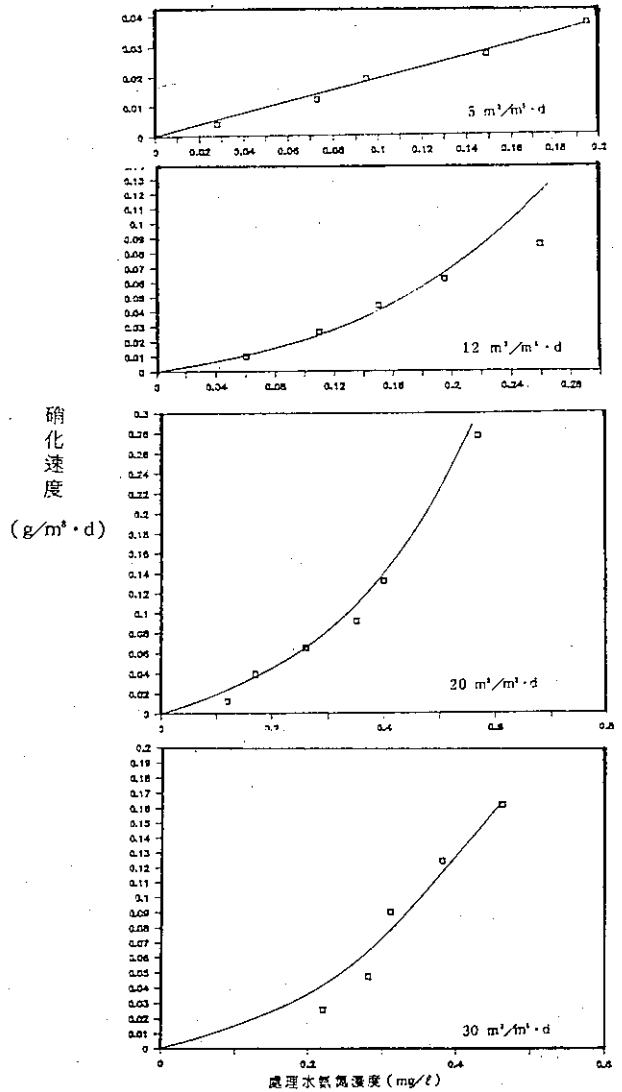


圖8 接觸曝氣法不同流量負荷下硝化速率 ( $V_r$ ) 與處理水氨氮濃度 ( $C_e$ ) 之關係

表4 接觸曝氣法各負荷條件下BOD之處理分析

BOD 濃度 範圍 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	平均 BOD 濃度 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	$30\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$			平均 BOD 濃度 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	$20\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$			$12\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$			平均 BOD 濃度 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	$5\text{ m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$		
		BOD 負荷 ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ )	BOD 處理 水均 值 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	BOD 去 除 率 (%)		BOD 負 荷 ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ )	BOD 處 理 水 均 值 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	BOD 去 除 率 (%)	BOD 負 荷 ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ )	BOD 處 理 水 均 值 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	BOD 去 除 率 (%)		BOD 負 荷 ( $\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{d}$ )	BOD 處 理 水 均 值 ( $\text{mg}/\text{l}$ )	BOD 去 除 率 (%)
0-1	0.55	16.5	0.64	0.45	0.6	12	0.32	0.45	7.2	0.18	0.7	0.73	3.65	0.17	0.73
1-2	1.40	44.3	0.63	0.58	1.42	28.4	0.57	0.60	17.1	0.32	0.79	1.34	6.7	0.19	0.86
2-3	2.256	67.7	1.37	0.4	2.44	48.6	0.74	0.69	29.14	0.45	0.81	2.45	12.2	0.17	0.93
3-4	3.43	102.9	1.76	0.49	3.33	66.5	0.99	0.7	39.9	0.60	0.82	3.28	16.4	0.26	0.92
4-5	4.2	126	2.3	0.45	4.37	87.3	1.31	0.7	52.4	0.64	0.85	4.38	21.9	0.28	0.91
5-	5.6	168	2.6	0.54	5.74	114.9	1.71	0.7	68.9	0.95	0.83	5.76	28.8	0.34	0.9
實驗 期間	1987年4月~8月					1986.9~1987.8					1986.9~1987.3				

## (2) F<sub>0</sub>D 負荷與處理水 BOD 濃度之關係

依表 4 得 BOD 負荷與處理水 BOD 濃度之關係如圖 10 所示，由圖中可知在同一流量負荷下，BOD 負荷愈高，處理水 BOD 濃度愈高，且其間呈一線性關係。綜合圖 10 知，欲達二級公共給水 BOD 水質標準 (BOD < 2mg/l)，原水之 BOD 負荷以小於 100 g/m<sup>3</sup>d 為宜。

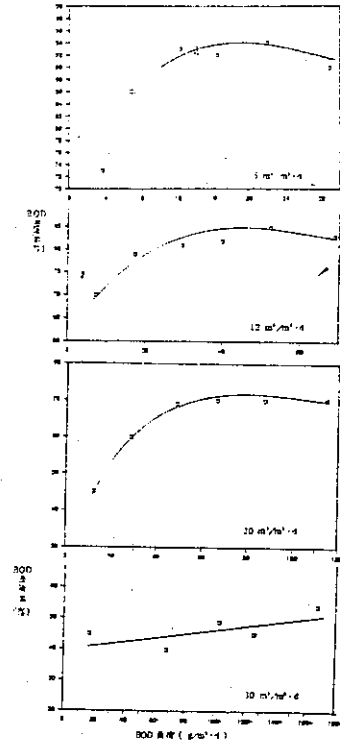
## 4.5 鹼度之消耗

由硝化作用原理可知，將 1 mg/l 氨氮轉化為硝酸鹽氮所需消耗之鹼度量為 7.14mg/l，今將實驗期間中鹼度之變化量 (進、出流水鹼度之差值) 與氨氮去除量 (進、出流水氨氮之差值) 相除，即得單位氨氮硝化所需消耗之鹼度量，將實驗結果整理於表 5。

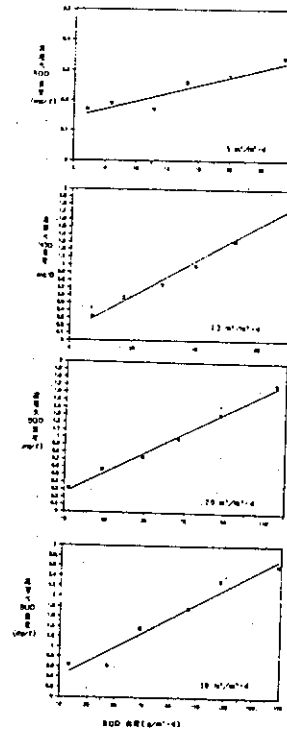
根據表 5 顯示，以接觸曝氣法處理時，在流量負荷 = 30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 20m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 12m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d 及 5m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d 時，其單位氨氮硝化所需之鹼度量分別為 8.96、7.66、7.77 及 7.66，與理論值差異不大，故於實際操作時，可以理論值做為鹼度消耗之依據，唯必須注意應有足夠之鹼度，以免硝化後消耗鹼度降低 pH，抑制硝化作用，且在高氨氮低鹼度地區，須有足夠之鹼度以期使硝化完全，在本實驗期間，處理水 pH 均維持在 7 左右，且原水中亦有足夠之鹼度使氨氮硝化完全。

## 4.6 原水及處理水加藥量之比較

### (1) 加藥量之探討



19 接觸曝氣法不同流量負荷下與 BOD 去除率之關係



20 接觸曝氣法不同流量負荷下 BOD 負荷與處理水 BOD 濃度之關係

本實驗以折點加氯量值，做為原水及處理水需氯量之比較，圖11為76年1月10日原水及處理水折點加氯曲線圖例，原水及處理水（流量負荷 =  $20\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $12\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $5\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ）之氨氮分別為  $1.318\text{mg}/\ell$ ,  $0.481\text{mg}/\ell$ ,  $0.214\text{mg}/\ell$ ,  $0.158\text{mg}/\ell$ ，由圖中可知原水及處理水之折點加氯量分別為  $13\text{mg}/\ell$ ,  $4.5\text{mg}/\ell$ ,  $2\text{mg}/\ell$ ,  $1.5\text{mg}/\ell$ ，其氯/氨氮比分別為 9.86, 9.36, 9.34, 9.49，均比理論值 7.6 大，此原因為原水及處理水含有部份有機物，亦會消耗一些氯，故實測值較理論計算為高。

若將實驗結果中加氯減少量（進、出流水折點加氯量之差值）除以氨氮去除量（進、出流水氨氮之差值），整理成表 6，由表中可知在不同流量負荷操作下（ $30\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $20\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $12\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $5\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ），其加氯減少量約為氨氮去除量之 10.73, 10.60, 10.52, 10.45 倍，總平均 10.58 倍，故氨氮去除量愈多，加氯減少量也愈多，因此相對降低了三鹵甲烷生成機會，而減少了三鹵甲烷生成量。

## (2) 混凝劑 PAC 添加量之探討

本實驗以瓶杯試驗探討原水及處理水混凝劑添加量之關係，採用的混凝劑為多元氯化鋁（PAC），並以濁度為指標，求出達到相同濁度所需之最佳混凝劑量。圖 12 為 76 年 2 月 27 日原水處理水（ $20\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $12\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ,  $5\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ ）經瓶

表 5. 接觸曝氣法氨氮硝化之氯度消耗量

流量負荷( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ )	氯度消耗量 mg 氨氮去除量 mg	標準偏差	樣本數
30	(5.78-8.98) 平均 7.43	0.73	13
20	(5.38-10.2) 平均 7.30	0.68	84
12	(6.11-9.37) 平均 7.49	0.57	84
5	(6.38-14.2) 平均 7.66	0.94	71

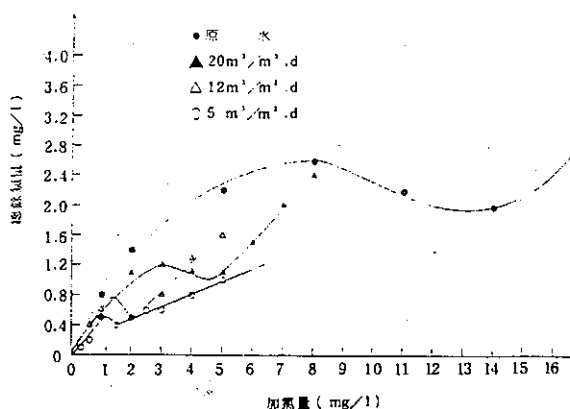


圖 11. 接觸曝氣法原水及不同不同負荷下處理水之加氯量與餘氯量之關係

表 6. 接觸曝氣法氨氮去除之加氯減少量

流量負荷( $\text{m}^3/\text{m}^3\text{d}$ )	加氯減少量 mg 氨氮去除量 mg	標準偏差	樣本數
30	6.86-13.01 (平均 10.45)	2.059	5
20	7.32-14.87 (平均 10.57)	1.623	22
12	8.18-14.14 (平均 10.53)	1.414	22
5	8.11-14.50 (平均 10.43)	1.417	17

杯試驗後之 PAC 添加量與殘存濁度之關係，原水及處理水濁度分別為 57 NTU，25NTU, 13NTU, 9.8NTU，由圖中可知其最佳 PAC 添加量分別為 60mg/l，40mg/l, 30mg/l, 23mg/l，將歷次實驗結果整理於表 7 及圖 13，可知當水中濁度愈高，所需之混凝劑添加量也愈多。水中濁度與 PAC 添加量之關係，可以下式表之：

$$y = 9.326 x^{0.461} \dots\dots\dots(3)$$

式中 x：水中濁度 (NTU)

y：PAC 添加量 (mg/l)

根據表 7，將 PAC 減少率及單位濁度減少之 PAC 添加量整理於表 8。由表中可知隨流量負荷的增加，其 PAC 減少率愈小，因此時濁度去除率低，在不同流量負荷下 (30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 20m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 12m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d 及 5m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d)，其所減少的 PAC 量分別為濁度去除量之 0.22, 0.96, 1.20, 1.39 倍。

#### 4.7 循環流速之探討

本實驗為了解接觸槽內之水流速度，在實驗期間內以氫氧化鈉溶液，投入接觸槽內，再以 pH 計於曝氣槽內測其 pH 變化，結果如圖 14，以圖形上之最高點，即 pH 最高時，視為水流完全流過，再以該點之時間除以流過的總距離 (即接觸槽深 + 曝氣槽深 = 3m + 3m = 6m)，即得該槽之循環流速，由圖中可知在流量負荷 30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 20m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 12m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d 及 5m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d，其流過時間分別為 96 秒，105 秒

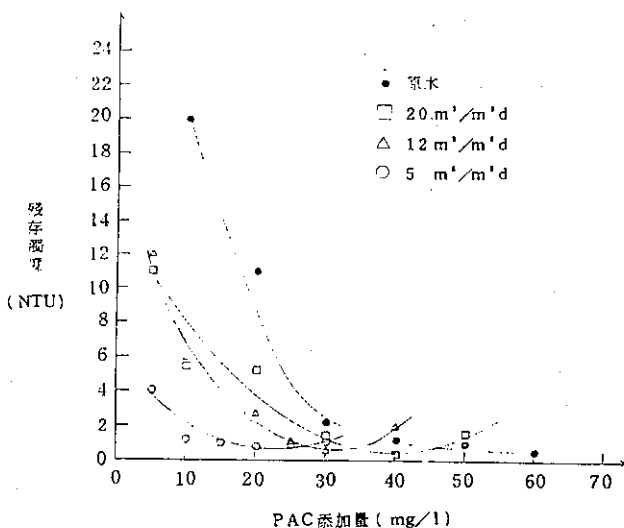


圖 12. 接觸曝氣法原水及各不同負荷下處理水之 PAC 添加量與殘存濁度之關係

表 7. 接觸曝氣法原水及各不同負荷下處理水之濁度與最佳 PAC 添加量

日期	濁度 (NTU)					混凝劑 PAC 最佳添加量 mg/l				
	原水	30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	原水	30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d
76.2.27.	57	-	25	13	9.8	60	-	40	30	23
76.3.6.	10	-	3.6	2.4	1.75	25	-	20	15	10
76.3.12.	9.3	-	2.6	2.4	2.1	25	-	15	10	10
76.3.19.	6.8	-	3.0	2.75	1.6	20	-	17	15	10
76.3.25.	42	-	14	5.3	2.5	45	-	35	27	15
76.3.27.	14	-	7.0	5.2	4.3	30	-	20	20	20
76.4.8.	24	13	4.1	1.7	-	40	35	20	15	-
76.4.16.	16	14	3.7	2.8	-	35	35	20	15	-

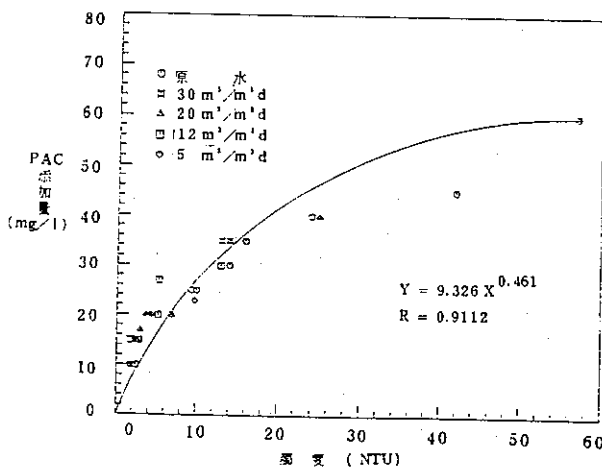


圖 13. 接觸曝氣法原水及各不同負荷下處理水之濁度與最佳 PAC 添加量之關係

， 124 秒， 147 秒， 相對的循環流速分別為 3.75m/min, 3.4m/min, 2.9m/min 及 2.45m/min, 由文獻記載知循環流速過大或過小均會使得去除效果變差，一般循環流速以 1 ~ 5 m/min 居多<sup>(16)</sup>，本實驗所測得之循環流速均在此範圍內，且差異並不大，故對去除效果之影響不大。

#### 4.8 污泥量之探討

將每天所產生之污泥量除以每天的處理水量，即得處理水 1 m<sup>3</sup> 原水所產生之污泥量，TVS 平均在 0.08 ~ 0.18 g/m<sup>3</sup>，由表 9 可知當流量負荷愈大，其每天產生之污泥量亦愈多，且由 TS, TVS 之比較，可知其 TS 均遠大於 TVS (平均 TVS/TS = 23.1%)，顯示污泥中有機成份偏低，主要因原水中有機物低，且硝化菌單位產量低，所以以本法處理時，所產生之污泥主要來自原水中的濁度，SS 等無機物質，且當原水水質愈差，其污泥產量愈高。

本實驗另探討原水經本法處理後，再以傳統的混凝沈澱處理時，所產生之總污泥量，和原水直接以混凝沈澱處理之污泥量的比較，所加入的混凝劑種類為多元氯化鋁 (PAC)，添加量為達相同水質之最佳劑量，表 10 為原水及處理水經混凝沈澱後之污泥量與原水直接以接觸曝氣法處理產生之污泥量的實驗結果。由表 10 可比較

表 8. 接觸曝氣法不同流量負荷之 PAC 減少量

流量負荷 (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> .d)	PAC 減少率 (%)	PAC 減少量 mg/l 濁度去除量 NTU
30	0 - 12.5 (平均 6.25)	0 - 0.45 (平均 0.22)
20	15 - 50 (平均 31)	0.35 - 1.49 (平均 0.96)
12	25 - 62.5 (平均 46.0)	0.49 - 2.17 (平均 1.20)
5	33.3 - 66.7 (平均 55.3)	0.75 - 2.08 (平均 1.39)

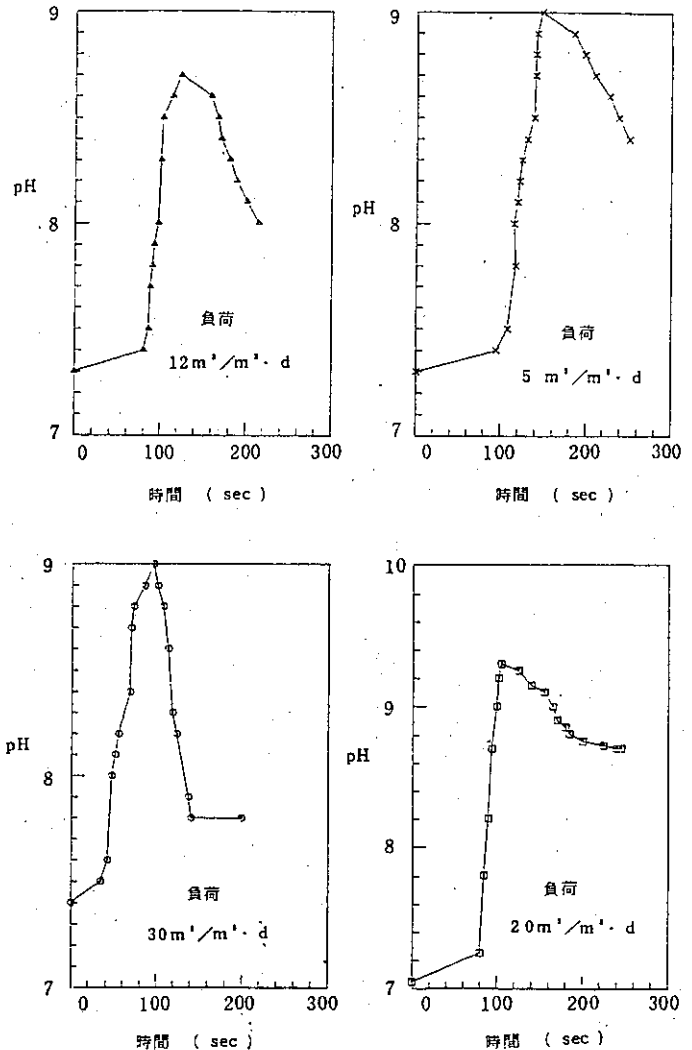


圖 14. 接觸曝氣法不同流量負荷之時間與 pH 變化之關係

表9. 接觸曝氣法不同流量負荷下之污泥產量

日期	濁度 (NTU)	SS (mg/l)	每天所產生之污泥量 (g/day)						處理 1 m <sup>3</sup> 原水所產生之污泥量 (g/m <sup>3</sup> )					
			20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		5 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	
			TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS
76.2.16.	12	18	9.7	2.48	3.9	0.65	2.8	0.55	0.45	0.11	0.3	0.06	0.52	0.10
76.2.17.	8.2	28	8.29	1.60	3.86	1.08	2.29	0.72	0.38	0.07	0.30	0.08	0.42	0.13
76.2.18.	6.9	31	8.68	1.85	4.75	1.38	3.13	0.97	0.4	0.09	0.37	0.11	0.58	0.18
76.2.19.	17	44	12.18	2.36	8.35	1.91	3.84	1.21	0.56	0.11	0.64	0.15	0.71	0.22
76.2.20.	15	36	10.96	2.09	6.36	1.36	3.625	0.65	0.51	0.09	0.49	0.10	0.67	0.12
76.2.21.	16	40	10.48	1.93	5.68	1.43	3.65	0.97	0.49	0.09	0.44	0.11	0.68	0.16
平均	12.5	32.8	10.05	1.77	5.48	1.30	3.22	0.845	0.465	0.08	0.42	0.1	0.60	0.15

出原水經接觸曝氣法處理再經混凝沈澱所產生之總污泥量與原水直接以混凝沈澱所產生之污泥量間之差異性，整理於表11。由表中可知原水先經接觸曝氣法處理再加PAC之總污泥量（即表中B值）比原水直接加PAC之污泥產量（即表中A值）要低。其減少量（A-B值）隨流量負荷之降低而增加，在流量負荷 = 30m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 20m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d, 12m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d之條件下，平均污泥減少量TS 為60.94 g/m<sup>3</sup>, 78.14g/m<sup>3</sup>, 92.78g/m<sup>3</sup>, TVS為9.29 g/m<sup>3</sup>, 14.74g/m<sup>3</sup>, 17.4 g/m<sup>3</sup>，且當水質愈差時，污泥減少量愈大，因此時需加

表10. 接觸曝氣法處理與混凝處理產生之污泥量

日期	濁度 (NTU)	SS (mg/l)	接觸曝氣法處理產生之污泥量(g/m <sup>3</sup> )						混凝處理產生之污泥量 (g/m <sup>3</sup> )							
			30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		原水		30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	
			TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS
76.4.13.	30	53	1.78	0.31	0.46	0.08	0.62	0.10	191.0	46.3	81.7	26.5	63.8	23.7	52.8	20.4
76.4.18.	23	47	1.74	0.30	0.46	0.09	0.59	0.10	150.2	37	78.3	28	55.3	16.6	39.6	11.8
76.4.20.	20	25	1.52	0.27	0.35	0.06	0.35	0.06	93.0	24	77.6	24.5	54.6	18.9	44.7	16
76.5.22.	31	65	1.64	0.30	0.65	0.08	0.74	0.12	168.9	40.1	78.8	20.9	70.5	22.4	53.1	18.5
76.5.26.	19	33	1.50	0.27	0.39	0.07	0.41	0.08	88.3	21.6	62.1	21.2	54.7	15.1	34.5	14.2

表11. 接觸曝氣法處理與混凝處理之污泥量比較

日期	濁度 (NTU)	SS (mg/l)	A		B						A-B					
			原水		30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		30 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		20 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d		12 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> d	
			TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS	TS	TVS
76.4.13.	30	53	191.0	46.3	83.48	26.81	64.26	23.78	53.42	20.5	107.52	19.49	126.74	22.52	137.59	25.8
76.4.18.	23	47	150.2	37	80.01	28.3	55.26	16.19	40.19	11.9	70.16	8.7	94.94	20.81	110.01	25.1
76.4.20.	20	25	93	24	79.12	24.77	54.95	18.96	45.05	16.00	13.88	-0.77	38.05	5.01	47.95	7.94
76.5.22.	31	65	168.9	40.1	80.44	21.2	71.15	22.48	53.84	19.21	88.46	18.9	97.75	18.9	114.96	20.86
76.5.26.	19	33	88.3	21.6	63.6	21.47	55.09	15.17	34.91	14.28	24.7	0.13	33.21	6.43	53.39	7.32
平均	24.6	44.6	138.28	33.8	77.31	24.51	60.14	19.32	45.48	16.40	60.94	9.29	78.14	14.74	92.78	17.4

A：原水直接加 PAC 之污泥產量 (g / m<sup>3</sup>)

B：原水先經接觸曝氣法處理後再加 PAC 之總污泥量 (g / m<sup>3</sup>)

大量的混凝劑才能達到良好的水質，故所產生之污泥量多，而以接觸曝氣法處理時，本身的污泥量即很少，且隨水質變差，其污泥量增加並不大，故整體而言，污泥減少量增加。

### 五 結論與建議

本研究以實規模之模廠，以受污染之河川自來水原水進行直接處理研究，經歷一年之研究實驗，獲致結論並建議如次：

1. 根據實驗期間之原水水質分析，原水達二級公共給水之 BOD、氨氮水質標準，其及格率僅為 32%，9.0%，可見原水污染非常嚴重，而以接觸曝氣法做為預先處理時，處理水水質可大幅提升，減低後續淨水處理的操作負荷，可達到減少預氯量，混凝劑添加量及污泥產生量之三大目的。
2. 流量負荷愈高，對氨氮 (0.122 ~ 6.552mg/l)、BOD(0.3 ~ 6.3mg/l)、COD(3.02 ~ 35.6mg/l)，濁度 (5.2 ~ 81 NTU) 而言，其去除率愈差，且處理水水質也愈壞。在實驗期間流量負荷 = 5m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>d 下，平均去除率氨氮 = 92.3%，BOD = 91%，濁度 = 85%，COD = 83.2%，且處理水水質可達到二級公共給水之原水水質標準。
3. 對氨氮和有機物的去除效果，以氨氮最高。顯見本法之去除作用以硝化作用為主。流量負荷 (H<sub>L</sub>)、原水氨氮 (C<sub>0</sub>) 濃度及氨氮去除量 (L<sub>r</sub>) 之關係如下式：

$$Lr = 3.903 \times 10^{-3} H_L^{0.852} C_o^{1.076}$$

4. 對氨氮的去除效果顯示，在氨氮負荷小於  $50 \text{ g/m}^3 \text{ d}$  時，氨氮去除率隨氨氮負荷的增加而增加，當氨氮負荷大於  $50 \text{ g/m}^3 \text{ d}$  時，氨氮去除率已有下降趨勢，而處理水欲達二級公共給水之氨氮標準 ( $\text{NH}_3\text{-N} < 0.3 \text{ mg/l}$ )，氨氮負以小於  $30 \text{ g/m}^3 \text{ d}$  為宜。
5. 有機物的去除特性方面，BOD 去除率依負荷之增加而增加，然其處理水 BOD 濃度亦隨之增加，若欲達二級公共給水之 BOD 標準 ( $\text{BOD} < 2 \text{ mg/l}$ )，原水之 BOD 負荷以小於  $100 \text{ g/m}^3 \text{ d}$  為宜。
6. 實驗期間對鹼度的消耗量，在流量負荷為  $30 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $20 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $12 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  及  $5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  下，其單位氨氮硝化所需之鹼度量平均分別為  $7.34, 7.30, 7.49$  及  $7.66 \text{ mg/l}$ ，總平均約  $7.45 \text{ mg/l}$ ，與理論值  $7.14 \text{ mg/l}$  相近，顯示原水鹼度足供硝化之需。
7. 當氨氮去除量愈大，其折點加氯減少量也愈多，在流量負荷為  $30 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $20 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $12 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  及  $5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  下，其加氯減少量約為氨氮去除量之  $10.73, 10.60, 10.52$  及  $10.45$  倍。顯示可以接觸曝氣法替代受污染原水的預氯處理。
8. 水中濁度愈高，所需之混凝劑添加量愈多，以接觸曝氣法處理時，水中濁度 ( $x$ ) 與混凝劑 PAC 添加量 ( $y$ ) 的關係式如下：
 
$$y = 9.326 x^{0.461}$$
 當流量負荷為  $30 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $20 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $12 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  及  $5 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  時，其所減少的 PAC 量分別為濁度去除量的  $0.22, 0.69, 1.20$  及  $1.39$  倍。顯示以接觸曝氣法預先處理自來水原水濁度，亦可減少後續處理之 PAC 添加量。
9. 以接觸曝氣法做為原水預先處理時，所產生之污泥量均遠低於一般傳統混凝沈澱所產生的污泥量，且當達到相同水質，原水先經本法處理，再以 PAC 做混凝處理之總污泥量，亦低於原水直接加 PAC 後混凝沈澱產生之污泥量，且流量負荷愈低，污泥所減少的量愈高。在流量負荷為  $30 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ ,  $20 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$ , 及  $12 \text{ m}^3/\text{m}^3 \text{ d}$  之條件下，其平均污泥減少量分別為：TS:  $60.94, 78.14$  及  $92.78 \text{ g/m}^3$ , TVS:  $9.29, 14.74$  及  $17.4 \text{ g/m}^3$ 。
10. 綜合本實驗各項結論，以接觸曝氣法做為原水預先處理時，可獲致下述幾項優點：
  - (1) 改善原水水質，減輕淨水廠之操作負荷。
  - (2) 減少原水預氯量。
  - (3) 可減少所需混凝劑之添加量。