

## 淨水廠中三鹵甲烷最佳吸附去除方法之研究

### (Optimum Adsorption Process for Removing Trihalomethanes in water Treatment Plant)

蔣本基\* 孫 昫\*\*

#### 摘 要

本研究以人工配製之腐植酸原水，來模擬河川表面水中主要的三鹵甲烷有機前質，進行淨水廠模型實驗，並以三種方式的活性碳吸附（A組加粉末狀活性碳（PAC）於快混池，B組鋪顆粒狀活性碳（GAC）於過濾池上，C組接GAC吸附管於快濾池後）來去除三鹵甲烷及其有機前質。

在未使用活性碳時，淨水廠模型在操作中約能去除60%的非揮發性總有機碳（NV-TOC），但是其對THMs生成潛能（THMFP）之去除率僅達20%左右，顯見在模廠操作中，未被去除的NVTOC部份是THMs的主要前質，而這部分經證明是較小分子部分。

在使用了活性碳後，B、C兩組均能有效控制採樣當時所產生的THMs（以THMi表示），使其量降低約90%以上，就NVTOC和THMFP的去除而言，其分別也有近90%和80%的去除率，至於A組的PAC雖然在淨水廠模型前面的各單元中（快混池、慢混池、沈澱池），能先去除一些NVTOC和THMs有機前質，但是就最終處理效果而言，要比B、C組的GAC差，就總體而言，C組的使用方法要比B組和A組為佳，顯示接GAC於過濾池後的操作，能有效控制腐植酸前質的THMs生成量。此外在前加氯位置後移時，其THMs的產量將漸減，顯示其乃一有效之控制THM生成量的方法。

#### 一 前 言

近來台灣地區許多淨水廠水源受到污染，使得水質日差，據調查〔1〕〔2〕台北地區飲用水源中，總有機碳（TOC）濃度介於2~9 mg/ℓ間；台中地區則為9~15 mg/ℓ間，由此顯示這些水源中含有微量有機物質。

國內淨水廠幾乎都採用加氯消毒與殺菌，部分淨水廠為因應水質的不佳而提高了加

\* 國立台灣大學環境工程學研究所副教授

\*\* 國立台灣大學環境工程學研究所碩士

氮量，遂造成了本省自來水中含氮有機物生成的潛在危機，其中以三鹵甲烷類 (THMs) 的存在，較爲人所關切。據調查本省自來水中或多或少都含有 THMs，較爲嚴重的地區其 THMs 總含量已高出 100 ppb (美日及台北市標準)，甚至超過台灣省的安全標準 200 ppb。

美國 EPA 在 1978 年發表美國國家飲用水暫定標準，提出有機污染物質的基準，本基準包括了兩部分。第一部分設定飲用水中 THMs 最大容許量 (MCL) 爲  $0.1\text{mg}/\ell$  即 100 ppb，第二部分規定供應七萬五千人以上的飲用水，須要在淨水過程中使用顆粒狀活性碳 (GAC) 處理，以期控制飲用水中所含的合成有機物 [ 3 ]。

活性碳在淨水處理中用於臭味的去除已有數十年歷史，早期多使用粉末狀活性碳 (PAC)，但是由於再生技術的進步，近二十年來顆粒狀活性碳 (GAC) 的使用漸多，因 GAC 也被證明較能去除微量有機物質 [ 4, 5 ]，因此目前歐美各國均以 GAC 爲主流。

Randtke [ 6 ] 由實驗結果指出經過混凝前處理後，能夠增加活性碳的吸附能力，但是如果混凝的效果不佳，那麼對吸附能力將無幫助。

M. C Lee 等 [ 7 ] 也認爲混凝後使用活性碳的效果較好，而混凝劑以硫酸鋁較佳，他並提出腐植酸的被吸附量反比於其分子量。

P. H Boening [ 8 ] 等指出腐植酸會和其它的微量有機物對活性碳的吸附產生競爭性，他並指出以瀝青及褐煤爲材質的活性碳，對腐植酸的去除率良好。

就淨水廠的實際操作而言，以法國爲例，分別介紹其 PAC 和 GAC 的用法如下 [ 9 ]

:

#### (1) Choisy-le-Roi 廠 (採 PAC)

每日流量  $800000\text{ m}^3/\text{day}$ ，PAC 用量  $0\sim 30\text{ mg}/\ell$ ，主要功能在去除味道，活性碳材質是椰殼，程序如下：

加氯 → 混凝 → PAC 處理 → 膠凝 → 沉澱 → 快砂過濾 (部分在砂上，部分在 GAC 上) → 臭氧 → 安全加氯。

#### (2) Viry-Chatillon 廠 (用 GAC)

每日流量  $10^5\text{ m}^3/\text{day}$ ，GAC 濾床有 6 個，平均 EBCT 是 15 min，再生的期限是一年，GAC 主要功能在除味道和有機物，活性碳材質有 Picactif, Picaflo G, F-300 等，其處理程序如下：

加氯 → 混凝 → 膠凝 → 沉澱 → GAC 濾床 → 臭氧 → 安全加氯。

瑞士所採用的則是雙層式的濾池，上層舖以 20 cm 的 GAC，下層舖 60 cm 的

石英砂 ( Quartz - Sand ) 如此將使過濾時間五倍於原來單層濾池，而操作時間亦和 GAC 的顆粒大小有關 [ 10 ]。

GAC 用於過濾的主要機構有二 [ 11 ]：

- (1) 當做一種去氯劑，分解氯胺 ( Chloroamine ) 使之放出氨氣，而為濾池中的硝化菌分解去除。
- (2) 吸收造成味道和氣味的含氯有機化合物 ( Organo-Chlorinated Compounds )，而這些有機化合物部分已被證明是動物致癌性的。

本研究乃基於傳統淨水功能無法有效降低水中之鹵甲烷生成，及國外活性碳在淨水中使用的普及，而選擇以不同方式的活性碳操作來控制水中三鹵甲烷及其有機前質，藉以評估何種活性碳處理方式較佳，此外本實驗同時也以改變前加氯的位置來探討對 THMs 生成的影響。

### 三 實驗材料、設備與方法

#### (一) 實驗藥品與材料

本實驗所使用的藥品與材料主要如下：(1) 活性碳，顆粒狀一種 F400，粉末狀一種 PW，(2) 腐植酸 ( Humic Acid )，(日本東京化成製品)，(3) 次氯酸鈉溶液 (日本 Wako 化學公司製)，(4) 甲醇 ( Merck 製 )，(5) THM 標準液 ( Supelco 製 1 ml )，(6) DPD 指示劑 (日本東京化成製品)，(7) KHP ( Merck, TOC 標準品 )，(8) 各式量瓶，採樣瓶，微量注射針，(9) 高純氮氣 ( 99.99 % 以上純度，台灣製 )，(10) 硫酸鋁粉末 ( 國產化學株式會社 )，(11) 氫氧化鈉粉末 ( 國產化學株式會社 )。

#### (二) 主要儀器與設備

(1) Purge & Trap 沖提儀 ( Takmar LSC-Z 型 )，(2) 氣相層析儀 ( GC, Perkin Elmer 製, Sigma 3 B 型 )，(3) 積分儀 ( M - 2 型, Perkin Elmer 製 )，(4) 總有機碳分析儀 ( TOC, Beckman 915-B 型 )，(5) 紫外光—可見光分光光度計 ( UV - VIS Spectro - photometer UV-VB 500 A 型, Perkin Elmer 製 )，(6) 餘氯偵測計 ( Model-Hol 型, NIHON MIZUSHORI 製, 日本 )，(7) pH 測計 ( Model-SP-7, Suntex 製 )，(8) 淨水廠模型。

#### (三) 實驗方法與步驟

##### 1. 去離子、有機物蒸餾水之製備：

以蒸餾後再經陰陽離子交換器與活性碳吸附塔程序製得的清水；最後再以高純度氮氣沖提處理 1 小時，使 THMs 含量低於  $0.1 \mu\text{g}/\ell$  以下；以此純度之蒸餾水

用於配裝實驗所有藥劑之溶液。

## 2. 腐植酸前質分離純化：

稱 1 g 腐植酸粉末溶於 100 ml 0.1N NaOH 溶液中，24 小時後，經標準濾紙（ $0.45 \mu$ ）過濾不溶解部份，溶解溶液稀釋成 1 公升，續用高純度氮氣沖提 15 分鐘後貯存於 4 °C，並測定貯存液總有機碳量，即 NVTOC（non-volatiled），一般  $1 \text{ mg} / \ell$  腐植酸  $\cong 0.3 \text{ mg} / \ell$  NVTOC。

## 3. 淨水廠模型實驗

本實驗配製腐植酸原水，仿淨水廠各單元操作，並配合活性碳的使用及前加氯位置的改變，以觀察不同情況下 THMs 的生成及去除，詳細淨水廠模型見圖 1，淨水廠模型操作之加氯及採樣位置見圖 2。

本實驗的操作變數如下：

- (1) 流量：為符合各單元設計停留時間，本試驗原水入流流量固定為  $250 \text{ ml} / \text{分}$ 。
- (2) 混凝劑加量：混凝劑用硫酸鋁，加量由實驗〔12〕得以  $60 \text{ mg} / \ell$  為最佳，故本實驗中固定硫酸鋁加藥量為  $60 \text{ mg} / \ell$ 。
- (3) 加氯量：配製的原水加氯量範圍為  $\text{Cl}_2 / \text{NVTOC} \cong 1.0 \sim 2.0$ 。
- (4) pH 值：本實驗以 NaOH 稀釋溶液，利用微量抽水機控制流量以調整慢池 pH 值維持在 6.6 ~ 7.0；一般 NaOH 溶液濃度以  $1000 \sim 3000 \text{ mg} / \ell$  為佳。
- (5) 活性碳使用：活性碳的使用可分為三部份，在 A 組裏採用粉狀活性碳（PAC），加於快混池入口以去除 THMs 的前質，加量為  $30 \text{ mg} / \ell$ ，B 組鋪顆粒狀活性碳（GAC）於過濾池上，C 組接 GAC 吸附管於快濾池後。
- (6) 加氯地點：分成三個加氯位置，即快混池入口、慢混池出水及沉澱池出水，如此可以比較改變前加氯位置時 THMs 的生成狀況，以作為一種替代方案。
- (7) 原水濃度：以 NVTOC 為指標，配製高、中、低三種濃度進行實驗，如此可比較不同水質時處理效果的差異。

依上述變數，本模型實驗預定進行九組實驗，各次實驗的內容、操作條件、分析項目及分析儀器等可見表 1。

## 4. 實驗分析方法

氣相層析儀（GC）及其附層設備的操作條件如下。

沖提儀操作條件為：沖提時間 6 分鐘，脫附預熱溫度  $120^\circ\text{C}$ ，脫附時間 2 分鐘，脫附溫度  $160^\circ\text{C}$ ，烘燒溫度  $222^\circ\text{C}$ ，烘燒時間 6 分鐘，預備溫度  $30^\circ\text{C}$ 。

氣相層析儀操作條件為：入口溫度  $180^\circ\text{C}$ ，電子捕捉檢測器（ECD detector

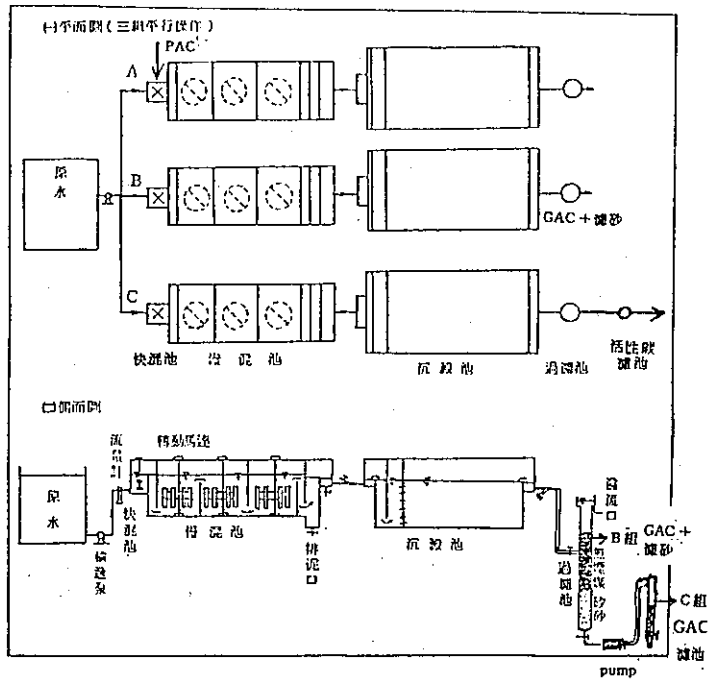


圖 1 實驗室規模之淨水廠模型單元流程圖

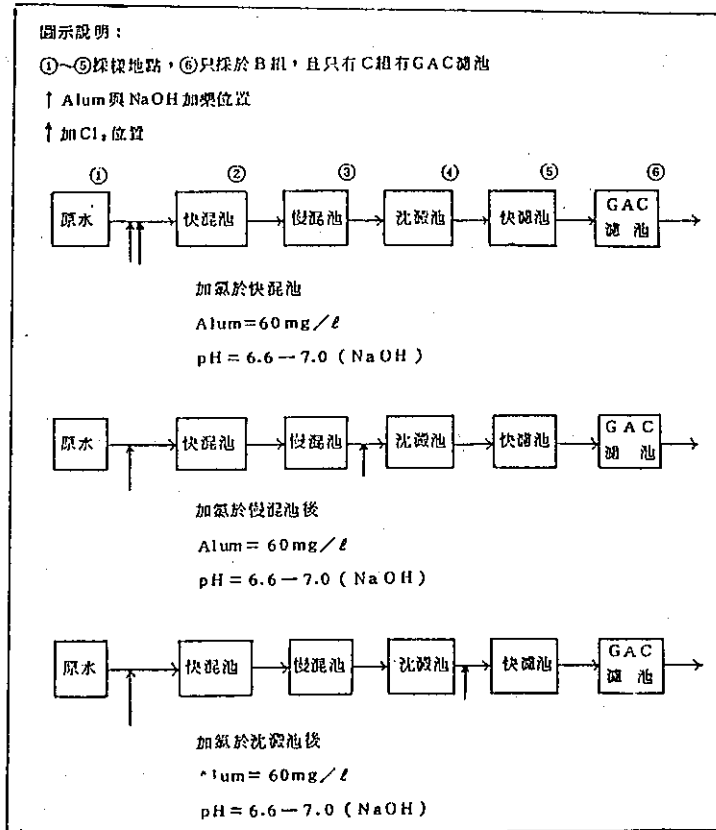


圖 2 淨水廠模型操作之加藥及採樣位置

) 溫度 360°C，總氮氣流量 60 ml / 分 ( 40 ml / 分 mixed up )，烘箱初始溫度 45°C 初始時間 1 分鐘，溫度上升速率 12°C / 分，烘箱最終溫度 145°C，最終時間 4 分鐘。

積分儀操作條件：PW = 15，SS = 1000，BL = 5，TP = 60，其層析測定圖見圖 3。

### 三 結果與討論

本實驗以腐植酸為原水，操作時之加氯量分別為原水 NVTOC 的 1.1 至 1.9 倍，共進行九組實驗 ( 見表 2 至表 10 )，原水 NVTOC 的範圍介於 3.0 ~ 9.0 mg / ℓ，前加氯位置分為三處，分別是快混池入口，慢混池出水和沉澱池出水，各進行低中高三種濃度原水的淨水廠模型實驗，此外並以不同方式的活性炭處理 ( A 組加 PAC 於快混池入口，B 組鋪 GAC 於快濾池濾砂上，C 組置 GAC 吸附管於快濾池後 )，以觀察各條件下 THMs 生成狀況，各組操作條件見表 1。

#### (一) 前加氯位置—快混池入水

表 2 至表 4 為前加氯於快混池入口位置，並於慢混池、沉澱池、過濾池及 GAC 濾池 ( 僅 C 組 ) 出水處採樣分析結果，分析項目包括餘氯、THMi、THMFP、THMmax、NVTOC、UV<sub>254</sub> 等。

#### 1. NVTOC 和 UV<sub>254</sub> 的變化

由表 2 至表 4 得 A 組模型廠 ( 加 PAC 於快混池 ) 對 NVTOC 的去除率累積量依次是慢混池 66.7 ~ 70.2 %，沉澱池 73.3 ~ 78.7 %，過濾池 82.2 ~ 89.4 %；B 組模型廠 ( 鋪 GAC 於濾池上 ) 各單元的去除率累積量依次是慢混池 10.2 ~ 25.8 %，沉澱池 50.9 ~ 62.7 %，過濾池 93.3 ~ 96.5 %；C 組模型淨水廠 ( 加 GAC 濾池於快濾池之後 ) 對 NVTOC 的去除率累積量依次是慢混池 10.1 ~ 23.3 %，沉澱池 43.4 ~ 61.8 %，快濾池 57.8 ~ 78.7 %，GAC 濾池 93.3 ~ 98.2 %，淨水廠模型各單元的 NVTOC 變化量見圖 4。

由以上分析顯示，加 PAC 於快混池的 A 組模型廠，在慢混池就能降低 NVTOC 的量約 66.7 ~ 70.2 %，而未加 PAC 的 B、C 組快混池則只有 10.1 ~ 25.8 % 的去除率，這個結果顯示 PAC 能在混凝池即吸附去除大量腐植酸，但是到過濾池時，這種去除的優勢將縮小，加 GAC 的模型淨水廠對 NVTOC 的去除率可達到 93.3 ~ 98.2 %，而加 GAC 管柱於快濾池後面，又要比直接鋪 GAC 於快濾池上，對 NVTOC 的去除率稍佳，這或許是因為前者先經快濾池，已先把大部份大分子的有機物濾除

表 1 淨水廠模型實驗操作及主要分析項目

實驗號	加氯位置	加氯度 (mg/l)	原水濃度 as NVTOC (mg/l)	分析項目	分析儀器	
以腐植酸為原水	1	快混池	5	3.0	除氯、NVTOC、THM <sub>1</sub> 、THMFP、THM <sub>2,3</sub> 、UV <sub>254</sub>	G.C.U.V., T.O.C.
	2	快混池	10	5.6	"	"
	3	快混池	10	9.0	"	"
	4	慢混出水	5	3.0	"	"
	5	慢混出水	10	5.2	"	"
	6	慢混出水	10	9.0	"	"
	7	沈澱池出水	5	3.0	"	"
	8	"	10	5.4	"	"
	9	"	10	8.9	"	"

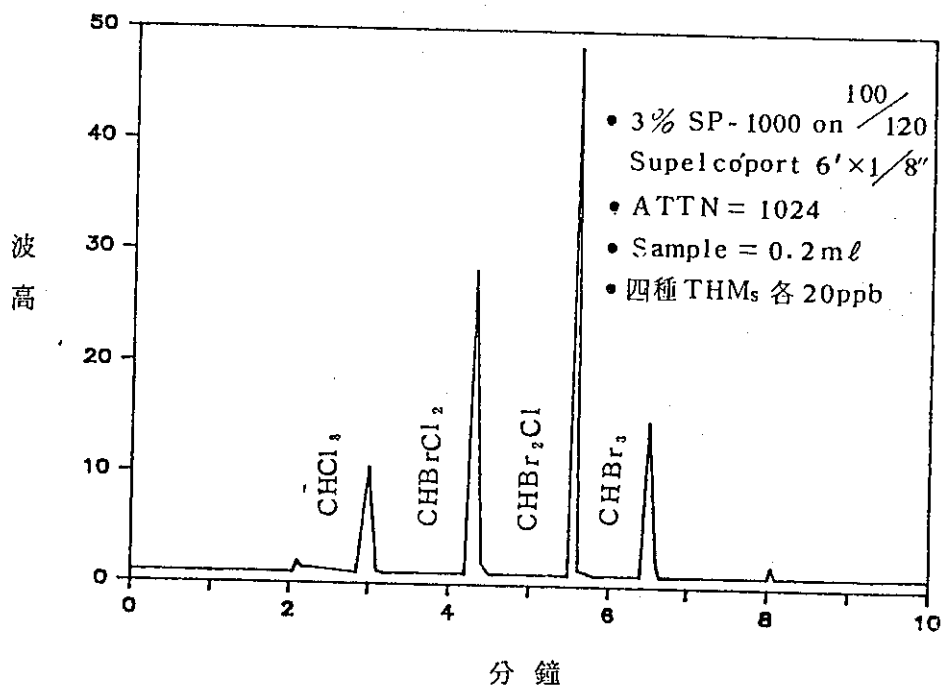


圖 3 水中THMs 標準液氣相層析測定圖

表2 腐植酸原水 (NVTOC = 3.0 mg/l), 前加氯  
於快混池入口位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFPP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	1.2	0.1	917.8	198.8	--	--
	慢混池	0.2	20.7	1329.6	--	1.0	0.036
	沈澱池	ND	32.8	902.7	--	0.0	0.031
	過濾池	ND	35.1	1021.3	--	0.4	0.013
B	快混池	1.5	10.3	1429.7	232.1	--	--
	慢混池	0.4	42.1	1551.3	--	2.7	0.075
	沈澱池	ND	49.2	1088.8	--	1.5	0.038
	GAC+細砂池	ND	1.2	772.7	--	0.2	0.004
C	快混池	1.6	12.5	1493.6	250.3	--	--
	慢混池	0.4	51.0	1677.0	--	2.7	0.074
	沈澱池	ND	53.4	1209.6	--	1.7	0.046
	過濾池	ND	59.1	1351.9	--	1.0	0.018
	GAC濾池	ND	0.8	450.1	--	0.2	0.003

• A組: 加 PAC 於快混池  
 B組: 鋪 GAC 於濾池上  
 C組: 加 GAC 管柱於傳統濾池後

•• 加氯量 = 5.0 mg/l  
 原水 THMFPP = 1678.4 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.159 ABS

表3 腐植酸原水 (NVTOC = 5.6 mg/l), 前加氯於  
快混池入口位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFPP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	5.6	13.7	1837.4	225.6	--	--
	慢混池	2.7	22.0	2020.9	--	1.6	0.045
	沈澱池	0.2	46.3	1201.4	--	1.2	0.026
	過濾池	ND	97.4	1272.4	--	0.6	0.005
B	快混池	6.2	30.3	1946.9	290.1	--	--
	慢混池	3.3	136.8	2062.4	--	4.2	--
	沈澱池	1.0	162.0	1019.5	--	1.7	0.050
	GAC+細砂池	ND	3.1	654.2	--	0.2	0.004
C	快混池	6.1	32.5	2169.6	306.4	--	--
	慢混池	3.1	144.9	2278.3	--	4.6	0.170
	沈澱池	0.9	183.2	1806.3	--	1.8	0.048
	過濾池	ND	171.4	2055.1	--	1.2	0.011
	GAC濾池	ND	2.6	478.8	--	0.1	0.002

• A組: 加 PAC 於快混池  
 B組: 鋪 GAC 於濾池上  
 C組: 加 GAC 管柱於傳統濾池後

•• 加氯量 = 10.0 mg/l  
 原水 THMFPP = 2542.3 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.273 ABS

表4 腐植酸原水 (NVTOC = 9.0 mg/l), 前加氯於  
快混池入口位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFPP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	4.6	16.3	2437.7	516.1	--	--
	慢混池	2.6	57.7	2750.2	--	2.8	0.055
	沈澱池	0.1	106.9	2004.6	--	2.1	0.043
	過濾池	ND	219.6	2141.2	--	1.6	0.008
B	快混池	5.6	36.0	2810.3	582.4	--	--
	慢混池	3.4	195.0	2921.7	--	6.7	0.172
	沈澱池	0.3	249.5	2012.4	--	4.3	0.090
	GAC+細砂池	ND	6.1	993.6	--	0.5	0.013
C	快混池	5.6	41.2	2901.8	602.0	--	--
	慢混池	3.4	203.2	3001.6	--	6.9	0.190
	沈澱池	0.4	254.1	2328.1	--	4.4	0.073
	過濾池	ND	301.3	2431.2	--	3.8	0.023
	GAC濾池	ND	7.5	627.0	--	0.2	0.001

• A組: 加 PAC 於快混池  
 B組: 鋪 GAC 於濾池上  
 C組: 加 GAC 管柱於傳統濾池後

•• 加氯量 = 10.0 mg/l  
 原水 THMFPP = 3010.2 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.603 ABS

，以致於接於其後的 GAC 管柱效果較佳；而後者直接過濾沉澱池的出水，將造成腐植酸中一些大分子有機物佔據了部分的吸附劑吸附空間，使得其吸附效果略遜於置 GAC 管柱於快濾池後的 C 組。

在量測 UV<sub>254</sub> 方面，和對 NVTOC 的去除有類似的結果，加 PAC 於快混池的模型在起初對腐植酸的去除以 UV<sub>254</sub> 表示有良好的效果，而在 B、C 組以 GAC 吸附後，顯出 GAC 對去除腐植酸的優勢。

## 2. THMi 和 THMmax 的生成

THMi 表示在淨水廠模型操作中，採樣當時所生成的 THMi 濃度，由文獻中得知〔12〕THMi 的生成量會隨著時間的增加而增加，由圖 5 淨水廠模型各單元 THMi 變化量中，我們可發現較後的單元 THMi 生成量較高，這點顯示傳統的淨水廠並不能有效阻止 THMi 的持續增加。

由圖 5 中我們同時可發現，加 PAC 於快混池的 A 組，其 THMi 的產生量較其它二組為低，顯示加了 PAC 後能去除掉一部分 THMs 的前質。

於模型操作中，THMi 的生成量在各單元裏漸增至沉澱池時 THMi 會稍降，這或許是部份的 THMs 被混凝池產生的膠羽吸附而沉澱，之後 THMi 將繼續增加。

B 組和 C 組在用了 GAC 後，對 THMs 的吸附效率極佳皆使 THMi 的值降至個位數，故能有效的控制三鹵甲烷的產生。

THMmax 表示最終的 THMs 產量，是於加氯點，採集樣品後不加任何藥劑靜置於陰暗處在常溫下 3 天後測其 THMs 值即得。

由表 2 至表 4 中 THMmax 的值可知，A 組的值略低但是並不明顯，顯示 GAC 不能有效降低 THMmax 且 THMmax 會隨著原水濃度的增加而增加，這點顯示水中殘餘的微量有機物會繼續和水中的餘氯反應生成 THMs 且水中餘氯越多，所產生的 THMs 量也越多，這個結果顯示出自來水廠中所加的餘氯須加以控制，以防止 THMs 的持續增加。

## 3. THMFP 的生成

THMFP 表示 THMs 的生成潛能，將採得的水樣加以超量的氯（此處加 30 倍於加氯量的氯），靜置於陰暗處，在常溫下 3 天後測其 THMs 值即得。由這個值我們可以判斷出淨水廠對 THMs 前質去除的功能。

由圖 6 中我們可發現各單元之 THMFP 變化量間的關係，由快混至慢混漸增至沉澱池稍降後在過濾池又略升。

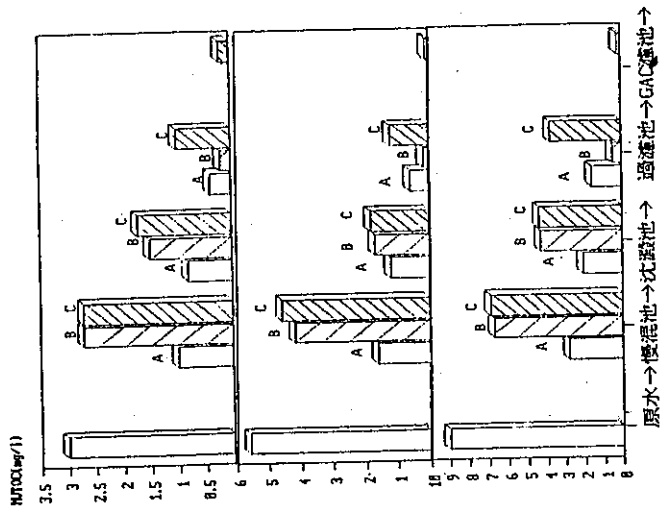


圖 4 腐植酸原水前加氯於快混池入口位置操作之各單元出水 NVTDC 的變化

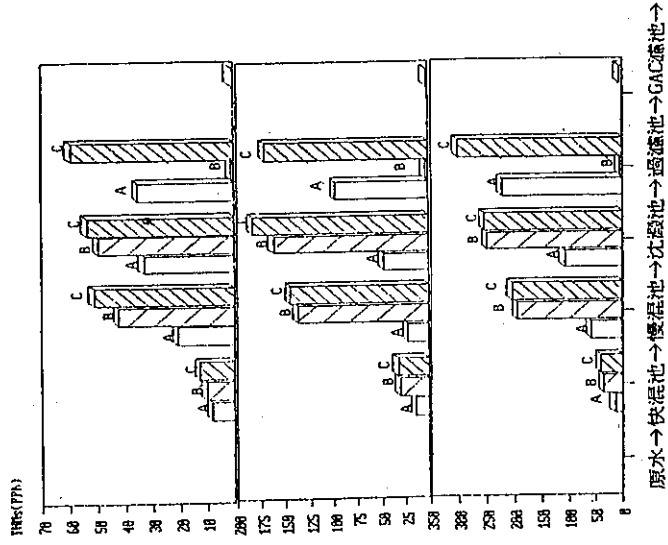


圖 5 腐植酸原水前加氯於快混池入口位置操作之各單元出水 THM<sub>10</sub> 的變化

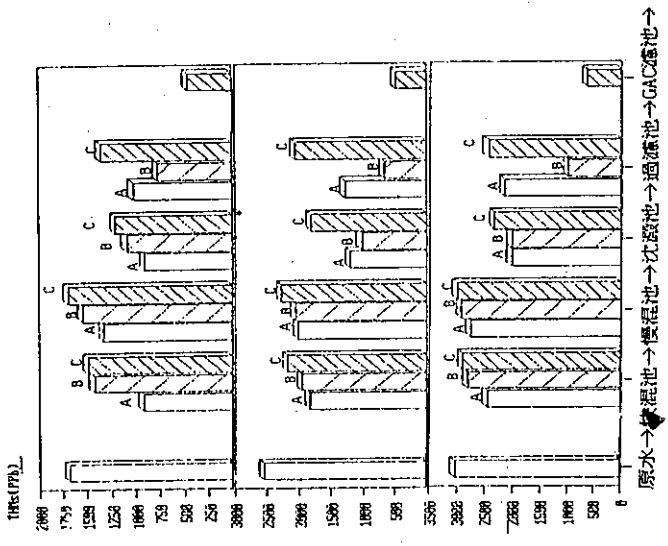


圖 6 腐植酸原水前加氯於快混池入口位置操作之各單元出水 THMF<sub>10</sub> 的變化

在前面各單元A組的THMFP比其它兩組略低，而B、C組在經過GAC處理後，THMFP要比A組為低。A組至過濾池能降低30~50%的THMFP，B組至鋪GAC的濾池後能降低54~75%的THMFP，C組在GAC吸附管後約降低73~81%的THMFP，而未經活性碳處理的水，其THMFP量將達原水的80%（見C組過濾池出水）。

由以上說明我們可以發現，傳統的淨水廠對THMFP去除的效果甚差，其混凝沉澱的步驟只能去除掉一些大分子的有機物，至於一些小分子的有機物（被懷疑為THMs的主要前質〔13〕〔15〕），則無法有效的去除。THMFP在未使用活性碳處理時，其生成量頗大，在使用了活性碳後，以GAC對其處理效果較好，有將近80%的去除率，這個結果顯示GAC可有效去除掉一些能形成THMs的微量有機物（即THMs的有機前質）。

## (二)前加氯位置—慢混池出水

實驗條件及結果見表5至表7，改變前加氯位置於慢混池出水位置，並於慢混池、沉澱池、過濾池及GAC濾池（僅C組使用）採樣分析。

### 1. NVTOC 和 $UV_{254}$ 的變化

由表5至表7中得A組模型廠對NVTOC的去除率累積量依次是慢混池47.1~68.3%沉澱池73.1~77.8%過濾池83.2~86.9%；B組模型廠對NVTOC的去除率累積量依次是慢混池6.7~41.1%，沉澱池38.2~59.1%，過濾池77.3~90.2%；C組模型廠各池去除率的累積量依次是慢混池6.3~42.6%，沉澱池27.2~55.6%，過濾池53.1~76.3%，GAC濾池94.2~98.1%，模型廠各單元的NVTOC變化量見圖7。在 $UV_{254}$ 的量測方面也得到一個和NVTOC相似的結果，顯示NVTOC和 $UV_{254}$ 有一定的關係存在。

由以上數據顯示加氯位置移後時，對於NVTOC的總處理效果沒有太大的影響，即其總處理效果只有些微的降低；就活性碳吸附效果而言，和加氯於快混池時所得的結果相似，A組之PAC在前面各單元顯出其優越性，但B、C組經GAC處理後顯示出其最終處理效果要優於PAC。

### 2. THMi 和 THMmax 的生成

由表5至表7的數據，可做出淨水廠模型，沉澱池後各單元THMi生成變化的圖形如圖8，和圖5比較我們可發現前加氯位置移至慢混池出水後，THMi的生成量比前加氯於快混池入水處所產生的THMi要降低甚多，顯示改變加氯位置確能降低THMi量。

表5 腐植酸原水 (NVTOC = 3.0 mg/l) : 前加氯於  
慢混池出水位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	--	--	821.3	--	--	--
	慢混池	--	--	1270.1	227.3	1.6	0.063
	沈澱池	2.3	15.2	968.0	--	0.8	0.042
	過濾池	0.1	17.5	1121.2	--	0.5	0.026
B	快混池	--	--	1084.5	--	--	--
	慢混池	--	--	1511.2	248.2	2.0	0.105
	沈澱池	2.5	28.1	1073.0	--	1.7	0.068
	GAC+細砂池	0.1	2.6	743.1	--	0.3	0.008
C	快混池	--	--	1013.1	--	--	--
	慢混池	--	--	1491.2	253.1	2.9	0.157
	沈澱池	2.2	30.2	1010.7	--	2.2	0.090
	過濾池	0.2	64.2	1130.4	--	1.4	0.071
	GAC 濾池	ND	2.0	521.7	--	0.1	0.003

\* A組: 加 PAC 於快混池  
 B組: 鋪 GAC 於池上  
 C組: 加 GAC 管柱於傳統濾池後

\*\* 加氯量 = 5.0 mg/l  
 原水 THMFP = 1654.2 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.160 ABS

表6 腐植酸原水 (NVTOC = 5.2 mg/l) : 前加氯於  
慢混池出水位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	--	--	1410.3	--	--	--
	慢混池	--	--	1030.2	372.9	1.7	0.051
	沈澱池	4.9	42.3	1661.6	--	1.2	0.023
	過濾池	0.2	37.4	1652.4	--	0.8	0.017
B	快混池	--	--	1608.0	--	--	--
	慢混池	--	--	2033.9	422.2	3.7	0.103
	沈澱池	5.1	43.8	1762.1	--	3.1	0.074
	GAC+細砂池	0.1	3.9	837.4	--	1.2	0.026
C	快混池	--	--	1768.4	--	--	--
	慢混池	--	--	2171.1	459.6	3.8	0.129
	沈澱池	5.2	56.1	1803.4	--	2.6	0.053
	過濾池	2.0	67.3	1789.4	--	2.1	0.021
	GAC 濾池	0.1	1.2	604.1	--	0.3	0.003

\* A組: 加 PAC 於快混池  
 B組: 鋪 GAC 於池上  
 C組: 加 GAC 管柱於傳統濾池後

\*\* 加氯量 = 10.0 mg/l  
 原水 THMFP = 2210.3 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.250 ABS

表7 腐植酸原水 (NVTOC = 9.0 mg/l) : 前加氯於  
慢混池出水位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	--	--	2314.7	--	--	--
	慢混池	--	--	2533.2	462.1	2.9	0.084
	沈澱池	4.5	67.1	1978.2	--	2.3	0.072
	過濾池	0.1	72.4	1932.7	--	1.2	0.027
B	快混池	--	--	2637.2	--	--	--
	慢混池	--	--	2853.5	572.9	4.3	0.164
	沈澱池	4.6	121.1	2321.9	--	2.7	0.072
	GAC+細砂池	0.2	32.4	1023.2	--	1.0	0.004
C	快混池	--	--	2726.6	--	--	--
	慢混池	--	--	2879.2	603.6	5.4	0.167
	沈澱池	4.9	132.1	2407.1	--	3.2	0.082
	過濾池	0.4	147.3	2410.1	--	2.1	0.067
	GAC 濾池	--	3.4	654.2	--	0.2	0.011

\* A組: 加 PAC 於快混池  
 B組: 鋪 GAC 於池上  
 C組: 加 GAC 管柱於傳統濾池後

\*\* 加氯量 = 10.0 mg/l  
 原水 THMFP = 3001.7 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.601 ABS

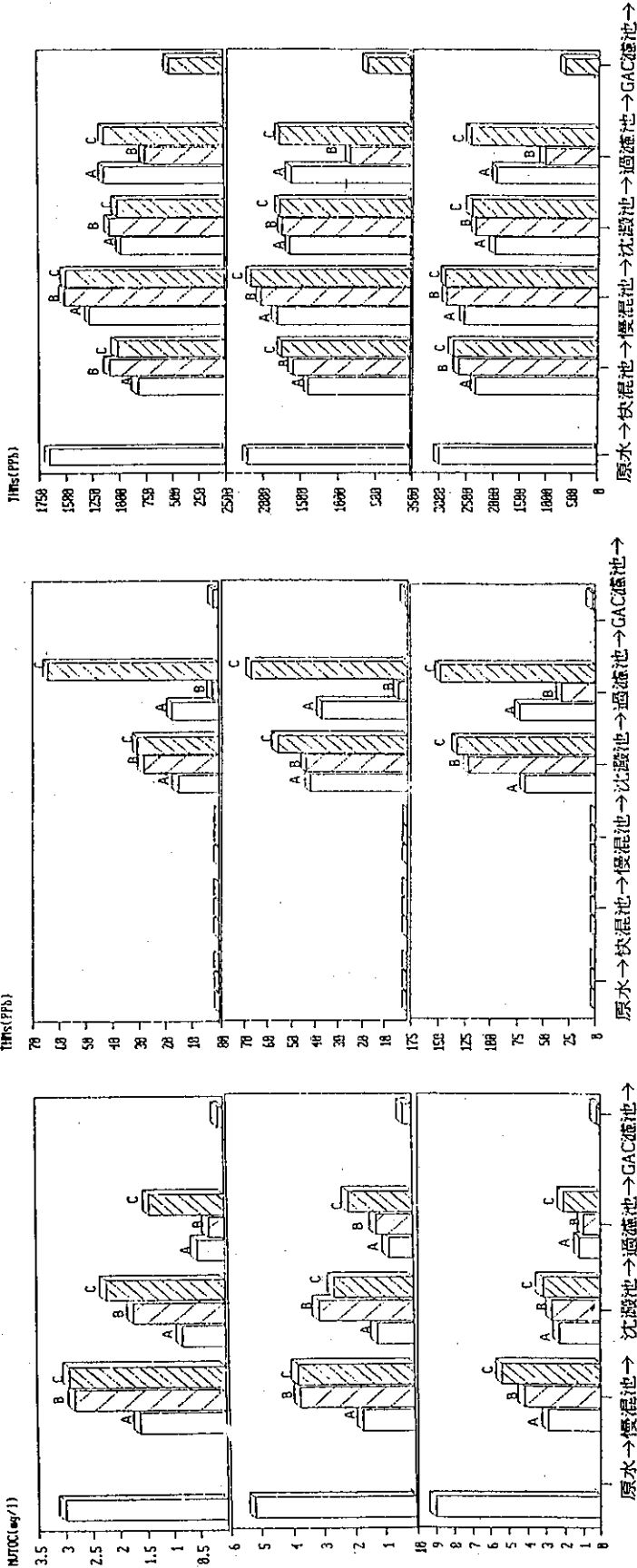


圖 7 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 NVTOC 的變化

圖 8 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 THMI 的變化

圖 9 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 THMFPP 的變化

圖 7 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 NVTOC 的變化

圖 8 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 THMI 的變化

圖 9 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 THMFPP 的變化

圖 7 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 NVTOC 的變化

圖 8 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 THMI 的變化

圖 9 腐植酸原水前加氣於慢混池出水位置操作之各單元 出水 THMFPP 的變化

至於活性碳的吸附效果，同前所述GAC能吸附去除大部分的THMs，表現出較PAC為佳的吸附能力，而C組的用法又顯得比B組為佳。

就THMmax而言，所得的結果和在加氯於快混池入口時所討論的一致。

### 3. THMF<sub>P</sub>的生成

淨水模型廠各單元的THMF<sub>P</sub>變化可見圖9。與圖6比較，我們可發現改變前加氯位置至慢混池出水後其THMF<sub>P</sub>的量並未下降，這個結果顯示改變前加氯位置，並不能降低THMs有機前質的濃度。

在經由活性碳的吸附，A組約能降低THMF<sub>P</sub> 25 ~ 35%，B組約能降低THMF<sub>P</sub> 55 ~ 66%，C組約能降低THMF<sub>P</sub> 56 ~ 78.3%；顯然地GAC對有機前質的去除效果要優於PAC，而置GAC管柱於快濾池後的C組，處理效果又略優於鋪GAC於快濾池上的B組。

#### (三)前加氯位置—沉澱池出水

##### 1. NVTOC和UV<sub>254</sub>的變化

由表8至表10中得A組模型廠對NVTOC的去除率累積量依次是慢混池40.4 ~ 53.1%，沉澱池59.8 ~ 63.2%，過濾池78.3 ~ 87.4%；B組模型廠對NVTOC的去除率累積量依次是慢混池13 ~ 21.1%，沉澱池33.6 ~ 53.3%，過濾池85.1 ~ 92.2%；C組模型廠對NVTOC的去除率累積量依次是慢混池10.2 ~ 22.2%，沉澱池33.7 ~ 55.6%，過濾池47.2 ~ 77.3%，GAC濾池90.3 ~ 96.2%。模型廠各單元的NVTOC變化量見圖10。在UV<sub>254</sub>的檢驗結果方面如前所述仍和NVTOC的結果相符。

由以上數據和前面兩種加氯位置相比較，可發現不同加氯位置對NVTOC的最終處理效果影響不大。但是就慢混池的NVTOC而言，因加氯位置不同而顯得有些差異，加氯於快混池入口時，因氯的氧化力強，能迅速氧化一些NVTOC，使得至慢混池的NVTOC剩餘量較低，而加氯位置移至慢混池和沉澱池出口時，慢混池內的NVTOC剩餘量較高。至於活性碳的處理效果，同樣地仍以C組優於B組優於A組。

##### 2. THMi和THMmax的生成

由表8至表10的數據，可作出淨水廠模型過濾池後各單元THMi生成的變化量如圖11。和圖5及圖8相比，可發現前加氯位置移至沉澱池出水時，其THMi的值比前加氯於快混池入水及慢混池出水時，所產生的量要降低甚多，由此顯示將前加氯位置移向後時，能有效抑制THMi的生成量。

表 8 腐植酸原水 (NVTOC = 3.0 mg/l)，前加氯於沈澱池出水位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	--	--	930.9	--	--	--
	慢混池	--	--	1253.4	--	1.4	0.055
	沈澱池	--	--	1087.0	60.0	1.1	0.029
	過濾池	ND	14.3	1145.4	--	0.6	0.011
B	快混池	--	--	1100.3	--	--	--
	慢混池	--	--	1514.2	--	2.6	0.100
	沈澱池	--	--	1093.8	81.9	2.0	0.077
	GAC+濾砂池	ND	1.1	571.4	--	0.4	0.009
C	快混池	--	--	1133.4	--	--	--
	慢混池	--	--	1577.0	--	2.7	0.112
	沈澱池	--	--	1210.5	76.6	2.0	0.076
	過濾池	ND	19.2	1193.4	--	1.6	0.041
	GAC 濾池	ND	0.0	460.3	--	0.3	0.006

• A 組：加 PAC 於快混池  
 B 組：鋪 GAC 於濾池上  
 C 組：加 GAC 管柱於傳統濾池後

•• 加氯量 = 5.0 mg/l  
 原水 THMFP = 1621.8 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.157 ABS

表 9 腐植酸原水 (NVTOC = 5.4 mg/l)，前加氯於沈澱池出水位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	--	--	1759.2	--	--	--
	慢混池	--	--	1690.3	--	3.2	0.204
	沈澱池	--	--	1371.4	130.1	2.0	0.089
	過濾池	0.4	21.1	1498.8	--	1.2	0.030
B	快混池	--	--	1867.4	--	--	--
	慢混池	--	--	2143.9	--	4.4	0.282
	沈澱池	--	--	1547.2	242.3	3.2	0.130
	GAC+濾砂池	0.5	0.8	691.5	--	0.8	0.018
C	快混池	--	--	1998.3	--	--	--
	慢混池	--	--	2246.4	--	4.3	0.274
	沈澱池	--	--	1667.9	258.2	3.3	0.147
	過濾池	0.7	43.1	1704.7	--	2.3	0.053
	GAC 濾池	ND	0.5	592.4	--	0.2	0.003

• A 組：加 PAC 於快混池  
 B 組：鋪 GAC 於濾池上  
 C 組：加 GAC 管柱於傳統濾池後

•• 加氯量 = 10.0 mg/l  
 原水 THMFP = 2468.2 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.260 ABS

表 10 腐植酸原水 (NVTOC = 6.9 mg/l)，前加氯於沈澱池出水位置操作之各單元出水水質檢驗結果

組別	池別	餘氯 (mg/l)	THMI (ppb)	THMFP (ppb)	THMmax (ppb)	NVTOC (mg/l)	U.V254 (ABS)
A	快混池	--	--	2355.4	--	--	--
	慢混池	--	--	2476.3	--	4.9	0.404
	沈澱池	--	--	2077.9	251.7	3.6	0.179
	過濾池	0.2	32.1	1624.8	--	1.2	0.049
B	快混池	--	--	2547.3	--	--	--
	慢混池	--	--	2629.4	--	7.1	0.501
	沈澱池	--	--	2017.9	368.8	4.2	0.190
	GAC+濾砂池	ND	2.1	864.2	--	0.7	0.013
C	快混池	--	--	2603.4	--	--	--
	慢混池	--	--	2756.2	--	7.0	0.468
	沈澱池	--	--	2256.4	378.3	4.0	0.144
	過濾池	0.4	72.7	2193.2	--	1.2	0.038
	GAC 濾池	ND	0	663.2	--	0.8	0.017

• A 組：加 PAC 於快混池  
 B 組：鋪 GAC 於濾池上  
 C 組：加 GAC 管柱於傳統濾池後

•• 加氯量 = 10.0 mg/l  
 原水 THMFP = 2906.3 ppb  
 原水 U.V 254 = 0.594 ABS

至於活性碳的吸附現象和 THMmax 的生成，如前所述，吸附效果是 C 組優於 B 組優於 A 組。

### 3. THMFP 的生成

淨水模型廠各單元的 THMFP 變化可見圖 12，和圖 6 及圖 9 相比，我們可發現此三張圖中各單元 THMFP 的變化及生成量極為類似，因此我們可以判定改變前加氯的位置並不能有效降低腐植酸中造成 THMs 的小分子有機前質。

經由活性碳的吸附後，A 組約能降低 THMFP 30 ~ 44 %，B 組約能降低 THMFP 65 ~ 72 %，C 組約能降低 THMFP 72 ~ 77 %。

#### (四)綜合分析討論

PAC 能在原水流入快混池之初，即吸附去院大量的色度及有機物（約可達 50%），同時也吸附去除部分的 THMs 前質，使得模型淨水廠前面各單元出流水中的 THMi 都有相當量的減少，因此可以減低需氯量以減少其和有機物反應生成 THMs 的機會。由 ABC 三組（見表 2 至表 10）可發現 A 組的餘氯量較少，這是因為 PAC 對餘氯亦有吸附的作用，如果在實際水廠操作時，這種現象將會影響餘氯的氧化及殺菌效果，因此在使用 PAC 時，最好不要用於加氯點，助最好將淨水廠之加氯位置向後移。

GAC 在吸附 THMi 方面和吸附 THMs 的有機前質方面，均表現出其極佳的吸附特性，而在不同的用法中，B 組舖 GAC 於快濾池上，吸附時因大分子有機物的存在而佔據了大部份的吸附空間，使其吸附效果略遜於 C 組，此外 B 組的活性碳達到貫穿點（breakthrough）的時間也將縮短，這點將影響其操作壽命。

由不同前加氯地點所測得的各單元 THMi 量大小，隨加氯於快混池入口、慢混池出水、沉澱池出水等位置之不同依序減低。其原因在於有機物與氯接觸時間的減少，及有機物本身的濃度降低所致。且改變前加氯位置並不會影響模型淨水廠對 NVTOC 的最終處理效果，故此法可再進一步的改變其原水性質，添加其它的原水條件，如臭味、濁度、氨氮、大腸桿菌、鐵錳等，以評估其使用價值。

此外 THMFP 可做為求取水中 THMs 有機前質的指標，由 THMFP 的多寡可以判斷出淨水廠去除有機前質的能力，由本實驗結果可知傳統的淨水廠只能去除約 20% 的 THMFP，而改變加氯地點並不能增加 THMFP 的去除率，因此欲去除 THMs 的有機前質，就必須要考慮到活性碳的使用，由實驗我們可發現 GAC 在這方面能達到 80% 的去除率，而 C 組的操作更能達到 90% 以上的去除率。

由實驗數據可發現未加活性碳時，當 NVTOC 的去除率達到 60% 以上，其 THMFP

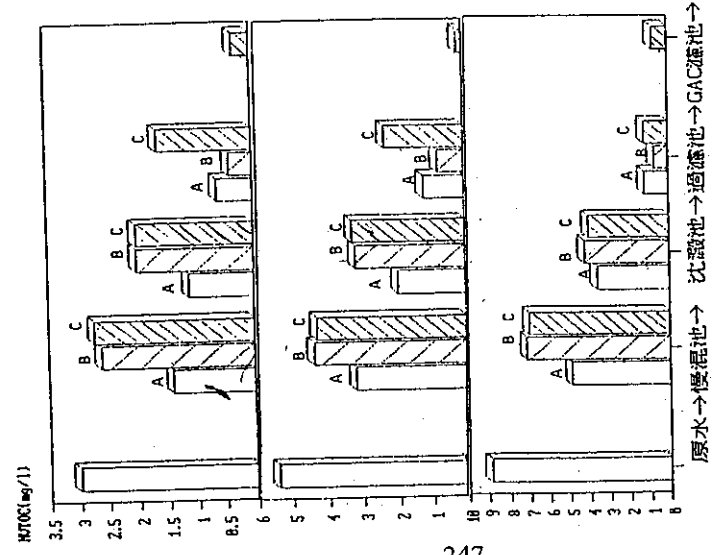


圖 10 腐植酸原水前加氯於沈澱池出水位置操作之各單元出水 NVTOC 的變化

原水濃度由上而下依次為 3.0, 5.4, 8.9 mg/l as NVTOC

A組: 加 PAC 於快混池出水  
B組: 鋪 GAC 於過濾池濾砂上  
C組: 加 GAC 管柱於過濾池後

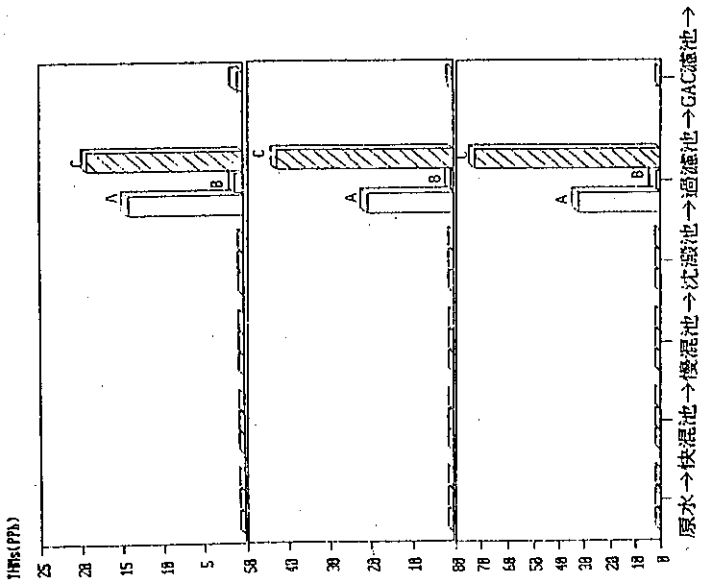


圖 11 腐植酸原水前加氯於沈澱池出水位置操作之各單元出水 THMI 的變化

原水濃度由上而下依次為 3.0, 5.4, 8.9 mg/l as NVTOC

A組: 加 PAC 於快混池出水  
B組: 鋪 GAC 於過濾池濾砂上  
C組: 加 GAC 管柱於過濾池後

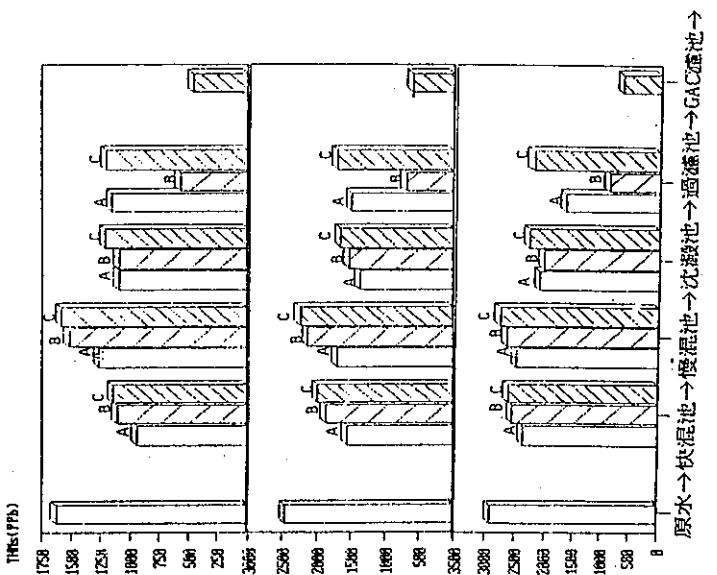


圖 12 腐植酸原水前加氯於沈澱池出水位置操作之各單元出水 THMF P 的變化

原水濃度由上而下依次為 3.0, 5.4, 8.9 mg/l as NVTOC

A組: 加 PAC 於快混池出水  
B組: 鋪 GAC 於過濾池濾砂上  
C組: 加 GAC 管柱於過濾池後

的產生量卻仍然達到原水的 80 ~ 90 %，這種現象可以混凝沉澱的特性來加以討論，一般學者認為混凝對於溶解性的有機物或是低分子量的有機物去除率甚低，相反的對於大分子量的有機物則有極佳的去除效果〔 15 〕，此外有一些研究指出〔 13 〕〔 14 〕，小分子量的有機物構成了 THMs 的主要前質，故我們可認為傳統的水廠在混凝時能去除分子量較大的部分，而此部分構成了大部份的 NVTOC，至於分子量較小的部分却無法有效的去除，而這些小分子量的有機物則構成了大部份的 THMFP，也因此傳統的淨水廠無法有效的去除 THMs 及其有機前質。

#### 四 結論與建議

1. 由模型實驗中發現傳統的淨水各單元並不能有效的控制 THMs 的產生，且對 THMs 的有機前質也無去除效果，而使用 GAC 吸附，及改變前加氯位置，則能有效控制。
2. 就 NVTOC 而言，大分子的腐植酸在傳統的淨水廠中有近 70 % 的去除率，而小分子的三種有機酸原水只有近 30 % 的去除率。顯示傳統的淨水混凝沉澱功能，只能有效去除大分子量的有機物；而對於腐植酸的 THMFP（可表示有機前質的去除率）則只有約 20 ~ 30 % 的去除率，顯示腐植酸中未被去除的較小分子部分為 THMs 的主要前質。
3. 由改變前加氯位置的實驗結果顯示，將前加氯位置往後移，對 NVTOC 的最終去除效果影響極小，而對 THMs 的產生量卻能有效的抑制。但是就 THMs 的有機前質而言，改變前加氯地點對其並無去除的效果，必須藉由活性碳來加以去除，以防制這些有機前質在配水系統中，繼續和有效餘氯反應生成 THMs。
4. 在本研究設定的操作條件下使用活性碳於淨水程序，可發現 PAC 在淨水最初的單元裏，能迅速吸附去除一些有機前質，但是就最終的處理效果而言，要比 GAC 差。而 GAC 不論在 NVTOC 的去除、THMi 的控制、THMFP 的抑制等方面都顯出其極佳的操作效果，且對於一些殘留之微量有機物質，GAC 也能發揮功能有效去除，以確保出廠後的淨水品質。就兩種 GAC 的使用方法而言，加 GAC 吸附管柱於快濾池之後的使用法要略佳於直接鋪 GAC 於濾池之上。
5. 在淨水廠模型實驗方面，宜再進行小分子有機物質原水的實驗，以觀察其在傳統水廠操作時的去除效率，及經吸附後的去除效率。
6. 淨水廠中活性碳的操作，宜再進一步的做最佳化設計，並進行經濟分析，以做為一種水質改進的替代方案。

誌謝

本研究承蒙國科會之經費贊助，始得順利完成，在此僅致以由衷之謝忱。

六 參考文獻

1. 蔣本基、曾四恭、劉福智、於幼華，台北公共給水水源中有害物質調查及處理技術研究，國立臺灣大學環境工程學研究所環境工程研究報告No. 98，民國74年。
2. 陳秋揚，台中公共給水淨水廠處理有害物質之功能分析，73年度環境工程研究計畫年終綜合研討會論文摘要專輯，pp.22 ~ 26，民國74年。
3. Committee Report, This Report Prepared by a Subcommittee of the AWWA, Jour. AWWA, 71 : 10: 588, Oct. (1979)
4. McCreary, J.J. & Snoeyink, V.L., Granular Activated Carbon in Water Treatment, Jour. AWWA, 69 : 8 : 437, Aug. (1977).
5. Synons, J.M., Interim Treatment Guide for Controlling Organic Contaminants in Drinking Water Using Granular Activated Carbon, U.S. EPA, Cincinnati, OH, U.S.A. (1978)
6. Stephen J. Randtke & C.P. Jepsen., "Chemical Pretreatment for Activated Carbon Adsorption," J. AWWA, p411 (1981).
7. Michael C. Lee, Vernon L. Snoeyink, & John. C. Crittenden, J. AWWA, P440, (1981).
8. P.H. Boening, P.D. Beckman, & V.L. Snoeyink., "A. C. versus Resin Adsorption of Humic Substances," J. AWWA p54 (1980).
9. Pierre Schulhof., "An Evolutionary Approach to A.C. Treatment", J. AWWA p648 (1979).
10. Maarten Schalekamp., "The use of GAC Filtration to Ensure Quality in Drinking Water from Surface Sources," J. AWWA, p638 (1979)
11. Weber W.J. & Morris J.C., "Adsorption of Biochemically Resistant material from Solution," Public Health Service Publication; No.999-WP-33 (1966).
12. 蔣本基、樓基中、孫昀，改變前加氯位置對淨水廠三鹵甲烷生成影響之研究(II)，

臺大環境工程報告No. 140，民國 75 年 11 月。

13. Stevens, A.A. et al., "Chlorination of Organics in Drinking Water," J. AWWA, p615-620 (1976).
14. Veenstra, J.H. & Schnoor, J.L., "Seasonal Variation in Trihalomethane Level in an Iowa River Water Supply" J.AWWA, p583 (1980).
15. 高肇藩、葉宣顯、丁文輝，給水水源中微量有機物處理法之研究，成功大學環境工程研究所研究報告（民國 73 年）。