

# 混凝能量對淨水效果的影響

史午康 \* 江清蓮 \*\*\* 張次郎 \*\* 羅吉雄 \*\*\*

## 第一章 前 言

### 1-1 研究動機

對本處新店溪水源青潭取水口的兩大淨水場—長興場及公館場而言，由於淨水場之興建曾歷經一期、二期、三期及四期擴建，就加藥系統來看，相當於七套處理單元，雖然同是處理青潭原水，加藥指令相同，但在加藥作業上相當於操作七個淨水場。在原水濁度驟變期間，混凝劑與氫氧化鈉加注量須配合調校時，限於人力或加藥管線長短不一（藥品到達時間差異），往往會發生某一、兩個單元，加藥不盡理想或短暫失控情況，而影響淨水效果。在先進國家淨水控制已紛紛邁向自動化，無人化的今天，本處既有淨水場的「加藥控制」自動化，在系統老舊參雜的情況下，卻似遙遙無期。

近兩年來本處已經強化水質電腦監測系統之功能，將淨水處理各單元、各程序中的水質狀況納入監測。由每日自動列印的水質掃瞄圖可明顯看出，各淨水處理單元間功能差異極大，其中影響最大的因素，當屬「混凝能量」。尤其公館場由於混凝設備老舊退化，往往須較長興場加注更高的混凝劑量，才得以勉強因應稍高的濁度變化，但效果仍不理想。

---

\* 台北自來水事業處生產科科長

\*\* 長興淨水場場長

\*\*\* 水質監控小組工程員

在混凝沈澱設備全面修理或更新的龐大經費無著之下，乃思於青潭堰取水口加藥，利用原水導水管之水流能量促進混凝。由於取水口儲藥、加藥皆有實際的困難，乃退而求其次，改於長興場分水井實驗加藥，以探討加藥系統簡化，及混凝能量改善的可行性。

本研究擬就長興場與公館場在分水井加藥前後之混凝能量及淨水效果作分析探討，並以杯瓶試驗模擬驗證，祈對既有淨水場淨水能力的提昇、淨水效果的增進及今後新場的相關設計方面，能有所助益。

## 1-2 研究架構與分工

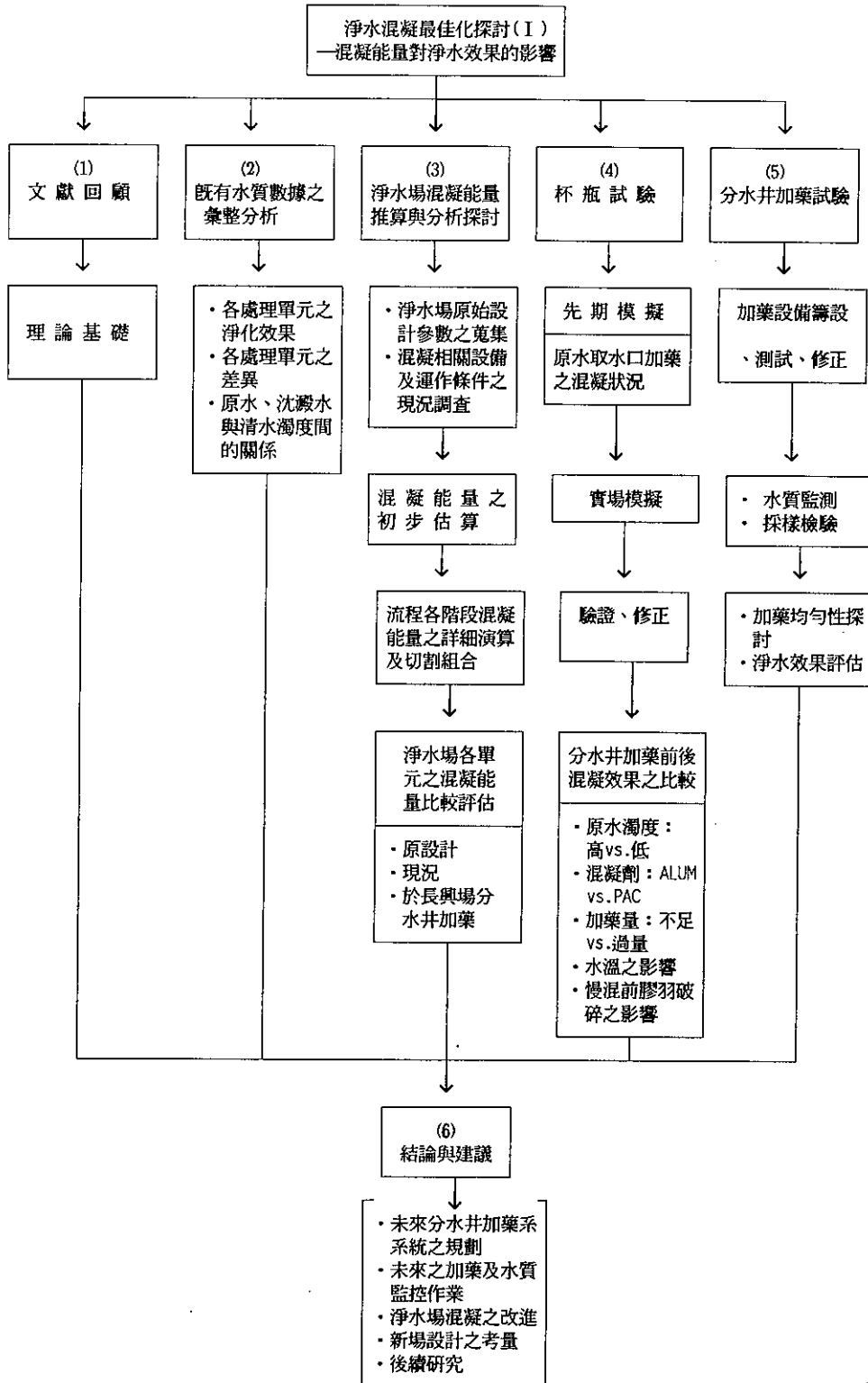
本研究係為探討淨水場加藥及混凝實務，需淨水場及水質人員之廣泛參與方能落實，乃由長興場、公館場參與，並由本處水質監控小組同仁為基本成員，共同籌劃，配合。

研究人員分工如下表：

### 工作項目：人員

1. 總策劃及撰稿：史午康、江清蓮
2. 分水井加藥系統規劃：江清蓮、張次郎
3. 分水井加藥系統籌建：江清蓮、楊宏仁、許登發、林相謀、李仍銘
4. 既有數據之分析：潘延雄、羅吉雄、施建福、張聖德
5. 淨水場各處理單元混凝能量之推算：江清蓮、張次郎
6. 杯瓶試驗設計：史午康、江清蓮
7. 杯瓶試驗及現場取樣檢驗：江清蓮、史午康、羅吉雄、潘延雄、施建福、張聖德、孫進良、許琦
8. 總鋁及殘留鋁檢驗：羅裕國
9. 水質監測系統之配置與應用：江清蓮
10. 數據之電腦分析作圖：張聖德、施建福
11. 淨水場現場作業之配合：張次郎、黃合壽

研究架構：



## 第二章 文獻回顧——理論基礎

### 2-1 快混作用與礬 ( Alum ) 的混凝機制 ( mechanism )

礬加入水中後迅即成爲水解複合離子，可爲原水中膠體表面所吸附並中和其負電荷，該反應非常快速，在  $10^{-4}$  秒內可完成。另一反應機制乃形成氫氧化鋁，該反應較慢約  $1 \sim 7$  秒完成，並藉氫氧化鋁沈澱顆粒對膠體的包圍而作絆除混凝 ( sweep coagulation )。

Overbeek 的研究顯示混凝是一種速度現象 ( rate phenomenon )，以下所列爲個別步驟的速度<sup>(1)</sup>：

- (1) 加入混凝劑快混：強烈攪拌 ( turbulent mixing ) 歷時  $10^{-3}$  秒，傳統式快混歷時數秒或更長時間。
- (2) 膠體電雙層的疏解時間 ( relaxation time )： $10^{-8}$  秒。
- (3) 膠體表面之電荷調整及吸附作用： $10^{-6} \sim 10^{-4}$  秒。
- (4) 布朗碰撞 ( Brownian collision ) 時間： $10^{-5} \sim 10^{-7}$  秒。

至於膠體對長鏈分子之吸附及表面電荷之疏解調整，則至少需數分鐘以上的時間。

由此可知，瓶頸步驟是加藥的快混程序。當水中電荷流動密度較低時，表面電荷之調整及吸附作用相對成爲關鍵步驟，因此藉加藥時間的快混使混凝劑即時分散均勻更顯重要。特別值得注意的是加藥後若混合強度不足，會因局部藥量超飽和，促成氫氧化鋁沈澱物的生成，而導致整體混凝效果不佳。

反之，在絆除混凝機制的情況下，由於氫氧化鋁的生成需時較長 (  $1 \sim 7$  秒 )，加藥瞬間的即時分散，及高能量快混，乃不似前述吸附脫穩 ( adsorption-destabilization ) 機制所要求的那麼嚴苛。

## 2-2 絮凝過程及其基本原理

當原水加注混凝劑後，膠體的穩定性破壞，使膠體顆粒具有相互聚集的性能，這是快混（凝聚）過程完成的任務。接著的絮凝過程，就是在外力作用下，使具有絮凝性能的微絮粒相互接觸碰撞，而形成更大絮粒，以適應沈降分離的要求。

為達完善絮凝，須具備兩個主要條件：(1)膠體系統要具有良好的絮凝性能；(2)混凝設備需能保證膠體顆粒獲得適當的碰撞接觸而又不致破碎的條件。在設計或操作實務中，往往有注意其中一方面而忽略另一方面的傾向。尤其操作運轉單位，往往側重於前者（即混凝劑或助凝劑的使用），而對設備的水力條件不夠注意。

要使顆粒聚集需要兩個基本前提：顆粒間的接觸（碰撞），及接觸後的聚集。如果顆粒不具備彼此結合的能力，接觸後將散開。這種能力即前述絮凝能力，係取決於混凝劑的投加和快混（凝聚）過程。絮凝能力決定了顆粒接觸後聚集的有效程度。

此外，絮粒在膠凝池中還受到水流剪切力影響。隨著絮粒粒徑增大，所受剪力也增大。當粒徑大於相應剪切力時，絮粒將破碎，尤其在絮凝過程的後期，破碎作用應予重視。

## 2-3 顆粒的接觸碰撞

顆粒在水中的接觸，主要有三個途徑：(1)顆粒的布朗運動；(2)顆粒隨液體的流動；(3)顆粒間的沈速差異。單位體積單位時間內由於布朗運動所產生的顆粒接觸次數 $J_p$ 可表示為：

$$J_p = \frac{4\bar{K}T}{3\mu} n^2 \quad (1)$$

$\bar{K}$ ：波爾茨曼常數

$\mu$ ：動力黏滯數

T：絕對溫度

n：單位體積內的顆粒數

由上式可見，由布朗運動產生的接觸機會與顆粒數的平方成正比。

流動的水體對加速顆粒聚集具有重要作用，此乃由於水的流動促進了顆粒的接觸。水流運動過程中，液層間存在著切應力，也就是液體的內摩阻力。當水流為層流時，切應力主要由水的黏滯力所產生；當水流為紊流時，除了黏滯力外，切應力還由水流質點的滲雜混合所產生。由於切應力的作用，使水流斷面上各點的流速存在差異，而對於紊流的水體，同一點上的瞬時流速也還各不相同。由於流速差異，使顆粒獲得了接觸碰撞的機會。由同粒徑組成的懸浮液，因水的流動而產生的單位體積單位時間內顆粒的接觸次數 $J_0$ 應為：

$$J_0 = \frac{2Gd^3 n^2}{3} \quad (2)$$

$G$ ：水體中某一點水流的速度梯度； $d$ ：顆粒的粒徑。

將(1)式與(2)式相除，即

$$J_0/J_p = \frac{\mu Gd^3}{2KT} \quad (3)$$

當水溫為 $25^\circ\text{C}$ ， $G$ 值為 $10\text{sec}^{-1}$ ，粒徑為 $1\ \mu$ 時，上式比值為1。而當粒徑為 $10\ \mu$ 時， $G$ 值只需 $0.01\text{sec}^{-1}$ ，即可使 $J_0$ 的作用相當於 $J_p$ 的作用。對一般混凝池來說，起始部分的 $G$ 值一般都在 $50\text{sec}^{-1}$ 以上。因此可以認為只要顆粒的粒徑大於 $1\ \mu$ ，在混凝計算時，就可以忽略布朗運動產生的顆粒碰撞。

至於因沈速差異而造成的顆粒接觸，在沈澱池中發生相當作用，然而在混凝池中，由於水流的強烈紊動，相對來說沈速差異的作用微小，尤其在混凝的開始階段，顆粒尚屬細小，本身的沈速即不大，不同顆粒的沈速差異乃更小，因此一般可予忽略不計。

綜上可知，雖然在混凝過程中，可以經由多種途徑達到顆粒的接觸，然而在實際混凝過程中，起主導作用的還是液體的流動。

## 2-4 絮凝過程反應式

若不考慮顆粒的破碎，且假設顆粒的每次接觸都達到聚集的目的，則在膠凝池中顆粒的總數將隨著顆粒的接觸減少，其變化率應為：

$$\frac{dn}{dt} = -J = -\alpha G d^3 n^2 \quad (4)$$

$\alpha$  為常數，隨推導碰撞公式的假定而異。對應於(2)式， $\alpha$  即為  $2/3$ 。若以  $C$  表示液體中顆粒所佔的比例，且假設顆粒為球形，則

$$C = \frac{\pi}{6} d^2 n \quad (5)$$

$$\frac{dn}{dt} = -\frac{6}{\pi} \alpha C G n = -K_s n \quad (6)$$

$K_s$  為顆粒數變化的理論比例係數，

$$K_s = \frac{6}{\pi} \alpha C G \quad (7)$$

當水流速度梯度不變時， $K_s$  亦為定值。

可見，絮凝反應是顆粒濃度的一級反應。將(6)式積分，可得

$$\ln \frac{n}{n_0} = -K_s t \quad (8)$$

$$n = n_0 e^{-K_s t} \quad (9)$$

式中  $n$ ：反應時間為  $t$  時的顆粒總濃度

$n_0$ ：反應開始時 ( $t=0$ ) 的顆粒總濃度。

假設顆粒接觸聚集時密度保持不變，即顆粒的總體積不變，且形狀均呈球形，則可將(9)式換算為顆粒徑隨時間的變化關係：

$$d = d_0 e^{K_s t / 3} \quad (10)$$

式中  $d$ ：反應時間為  $t$  時的顆粒粒徑；

$d_0$ ：反應開始時 ( $t=0$ ) 的顆粒粒徑。

(9)及(10)式表示隨著反應時間增加，顆粒總數呈指數關係衰減，其粒徑則相應不斷增大。而沈降速度正比於粒子徑的平方，乃呈指數關係上升。影響粒徑增長速度的，除原始粒徑  $d_0$  外，主要取決於反應常數  $K_s$  值。而由(7)式中可知， $K_s$  值是由懸濁液的體積濃度  $C$  和速度梯度  $G$  所決定。亦即，絮凝反應的速度將受顆粒濃度和液體的速度梯度所控制。當濁度相同時，絮凝速度取決於  $G$ ，且只要  $Gt$  相同，將達到相同的絮凝效果。當對比於濁度不同的絮凝時，則以  $GCT$  作為決定絮凝效果的指標。

以上係假設顆粒每次接觸均達到有效聚集。實際上如前 2-2 節所述，由於顆粒的絮凝能力不同，接觸後達到有效聚集的程度乃不同。可以  $\eta$  表示有效接觸聚集的比例。 $\eta$  的變化範圍大致在 0.010 ~ 0.448 之間，差距甚大。 $\eta$  值與被處理水的膠體性質，及其他化學性有關，更與混凝劑及其投加量有密切關係。因此控制絮凝反應的指標應為  $\eta GCT$ 。有些資料推荐给水处理絮凝所需的  $\eta GCT$  值，大致在 0.1 左右。但在實際使用中， $\eta$  值是很難確定的<sup>(2)</sup>。

## 2-5 混凝所需能量及其來源

$G_{amp}$  發展出以攪拌時  $t$  及速度梯度  $G$  來表示攪拌程度。快混（凝聚）及慢混（絮凝）所需的  $G$  值及  $Gt$  值如下表<sup>(3)</sup>。

| 快混 (rapid mixing)      |                        | 慢混 (flocculation) |                  |                |
|------------------------|------------------------|-------------------|------------------|----------------|
| 混合時間 $t$ , (s)         | 所需的 $G$ , ( $s^{-1}$ ) | 類別                | $G$ ( $s^{-1}$ ) | $Gt$           |
| 0.5 (in line blending) | 3500                   | 低濁度               | 20~70            | 60,000~200,000 |
| 10~20                  | 1000                   | 高濁度               | 50~150           | 90,000~180,000 |
| 20~30                  | 900                    |                   |                  |                |
| 30~40                  | 800                    |                   |                  |                |
| 更久                     | 700                    |                   |                  |                |

由於在慢混階段，G 值過大會破壞膠羽，為維持膠羽在某個大小以上，G 值須止於約 20 的低值。不過慢混（絮凝）初期，膠羽尚小，不必擔心被破壞，故初期可用較大 G 值（約 70）隨膠羽的增大而減小 G 值，一般分為二、三個階段減低攪拌速度，稱作漸減絮凝 (tapered flocculation) (10)。

Camp 與 Stein 於 1943 年發表了下列計算速度梯度的公式：

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu}} \quad \text{式中 } \bar{G} : \text{反應池中水流的平均速度梯度；}$$

$$\epsilon_0 : \text{單位時間單位體積內所消耗的功。}$$

由式可見，速度梯度實際上反映了單位時間單位體積內水的能量消耗值 (9)。

$\bar{G}$  也可經由無因次分析法推導求得下式。

$$G = \sqrt{\frac{P}{\mu \bar{V}}} \quad (11)$$

式中  $\mu$ ：水的黏度 (kg/m.s)；

$\bar{V}$ ：水的體積 (m<sup>3</sup>)

P：產生剪力所消耗的功率 (W)。

為使水流產生一定的攪拌強度，可利用機械動力或水力為能量來源。分述如下：

(一) 外加機械能：以機械動力帶動槳板，使槳板周圍的液體運動以產生一定的速度梯度，其能量係由外部動力輸入。在混合池中每片槳板將馬力轉變為二種形式(1)水流：水及顆粒的移動；及(2)液層間的切應力。不同形式的槳板將能量分為水流及切應力的比例不同；在混合池中切應力的分佈亦不同。因此，以馬力推算的  $\bar{G}$  值，僅為平均值，而非整個體積中的 G 值分佈。

若攪拌機係由若干槳板組成時，其總功率為每塊槳板功率之和，即：

$$P = \sum_{i=1}^m P_i \quad \text{式中 } m \text{ 為槳板塊數。}$$

$$P_i = \int_{r_1}^{r_2} \frac{1}{2} C_D l \rho U_r^3 dr \quad (12)$$

$$\text{式中：} U_r = kU = \frac{2\pi k r n}{60} = 0.105 k r n ;$$

$$P_i = 1.45 \times 10^{-4} C_D l \rho k^3 n^3 (r_2^4 - r_1^4) ;$$

$C_D$ ：阻力係數（直徑大者，一般取1.9）；

$l$ ：槳板長度（m）；

$\rho$ ：水的密度（ $\text{kg/m}^3$ ）；

$U_r$ ：槳板對水的相對速度（m/s）；

$r$ ：轉動半徑（m）（即槳板中心與轉軸間的距離）；

$U$ ：槳板轉動速度（m/s）；

$k$ ： $U_r/U$ ；

$n$ ：槳板轉速（RPM）。

(二)利用沿程水位差：這是利用液體自身能量的一種方式。混凝過程的能量來自流動液體的水頭損失。沿程水頭損失所做的功，使液體達到相應的速度梯度。迴流池即為其中一例。

由  $P = Q \rho gH$  代入(11)式

$$\text{則 } \bar{G} = \sqrt{\frac{P}{\mu \bar{V}}} = \sqrt{\frac{Q \rho gH}{\mu \bar{V}}} = \sqrt{\frac{gH}{\nu T}} \quad (13)$$

式中

$Q$ ：處理水量（ $\text{m}^3/\text{s}$ ）；

$H$ ：水頭損失；

$\mu$ ：水的黏度（ $\text{kgm/s}$ ）；

$\rho$ ：水的比重；

$\nu$ ：水的動力黏度（ $\text{m}^2/\text{s}$ ）；

$T$ ：水力停留時間（s）。

(三)利用入口的流速動能：這也是利用液體自身能量的一種方式。水流以一定流速通過噴口或孔口，將其能量消散於液體之中，使液體獲得所需的速率梯度。旋流反應、渦流反應及穿孔旋流，皆屬此類型。

## 第三章 研究方法

### 3-1 既有水質數據之彙整分析

將長興場及公館場之水質及加藥量日平均值資料，以 Lotus 1-2-3 軟體程式建檔及統計分析，資料來源及處理流程如下：

(一)資料蒐集彙整 (資料期間：80.8.1 ~ 81.5.31)

1. 水質資料：取自「水質電腦監測系統」連續監測數據，包括：原水、沈澱水、清水及過濾水濁度。
2. 加藥量：取自「淨水場水處理日報表」。
3. 濾程：取自「快濾池操作日誌」。

(二)電腦建檔與統計分析

1. 資料項間的 X-Y 相關圖及迴歸分析：原水、沈澱水與清水濁度間的關係。
2. 各處理單元間淨水效果的比較。

### 3-2 淨水場混凝能量之推算與分析探討

#### 3-2-1 資料之蒐集

雖然長興場與公館場共有七個處理單元，考量其間有相似性，乃選取公館場南側單元，長興場水平東側單元及水安西側單元為代表單元，作混凝能量之推算與分析探討。

所蒐集之資料項目及來源如下：

(一)取自原設計參數者：流程各階段之水位、導水管口徑及長度、分水井及各池之容積、快混機馬力、膠凝機轉速、槳板面積及半徑等。

(註：取自參考文獻 5 ~ 9)

(二)現場量測者：處理水量、水位、膠凝機轉速、閘門開度。

(三)估算者：處理水量、停留時間、流速、水頭損失。

(四)假設者：水溫皆以 23 °C 計。

### 3-2-2 淨水流程的混凝能量推算

淨水處理混凝能量之來源，包括從藥品加入點至膠凝池出口之水力及機械攪拌能量，分述如下：

A. 由水力條件產生之混凝能量於分水井、導水管、蝶閘、快混池、進水渠、迴流池及膠凝池等處理流程中所產生的水頭損失，由前章 2-5 公式(13)可推算出相應之混凝能量—平均速度梯度  $\bar{G}$ 。

#### (1)長興分水井的混凝能量

長興分水井水流情形為湍急的渦流（如圖1），因水位不易量測，乃由分水井內水流迴轉情況來估算。假設其水頭損失相當於水流迴轉 180° 的能量消耗，（即假設水頭損失係數  $f=3$ ），則：

$$\text{由公式：} H = f \times \frac{V_{in}^2}{2g}$$

其中  $V_{in}$  之估算值為 1.7m/s，得  $H=0.44\text{m}$ ，由公式(13)：

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{gH}{\nu T}}$$

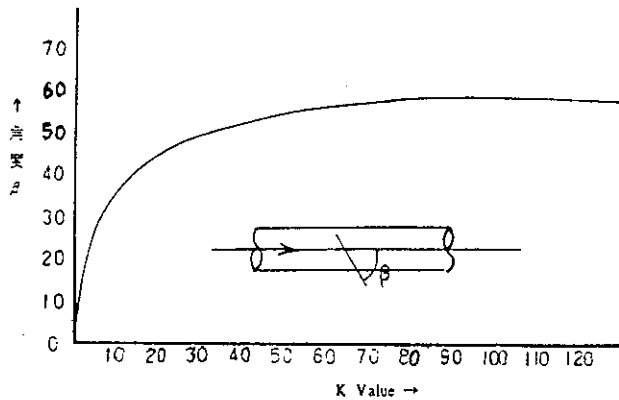
估算之分水井停留期間， $T=23$  秒，及 23 °C 時水之動力黏度  $\nu = 0.932 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ，得  $\bar{G} = 450 \text{ S}^{-1}$ 。

#### (2)流經未全開之蝶閘的混凝能量

水流經未全開的蝶閘時，由於流速驟變，其瞬間混凝能量遠大於導水管內的水流能量。其水頭損失：

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

式中水頭損失係數參考 Degremont, Water Treatment Handbook P.1011, 如圖所示。所得水頭損失再代入公式(5), 即可求得  $\bar{G}$  值。



蝶閥開度與水頭損失係數關係圖

(3)長興場分水井至公館場分水井間原水導水管之混凝能量

長興場與公館場分水井間共有三條導水管, 取水量分別由長興場分水井之閘門及蝶閥所控制 (如圖 2)。

由於三條原水導水管之水頭損失及停留時間不盡相同, 為推算其組合之  $\bar{G}$  值, 乃取平均值運算, 所採算式如下:

$$\text{平均停留時間: } T_{av} = \frac{V}{Q} = \frac{(T_1 Q_1 + T_2 Q_2 + T_3 Q_3)}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

$$\text{平均水頭損失: } H_{av} = \frac{Q_1 H_1 + Q_2 H_2 + Q_3 H_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{g H_{av}}{\nu T_{av}}} \quad (\text{依公式(5)})$$

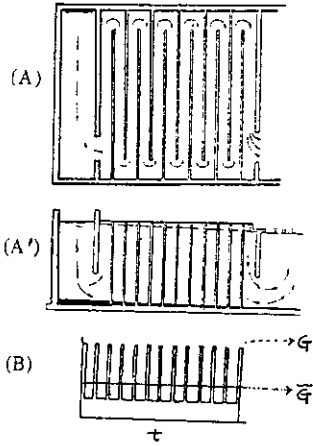
式中

- Q : 流量,  $m^3/s$  ;
- H : 水頭損失, m ;
- T : 停留時間, S ;
- $\nu$  : 水之動力黏度,  $m^2/S$  ;
- g : 重力加速度,  $m/s^2$

#### (4) 迴流池之混凝能量

迴流池混凝能量之分佈如下圖所示，當流經轉彎處時G值較大。其平均 $\bar{G}$ 值之計算如下式：

$$\bar{G} = \sqrt{\frac{(H_{in} - H_{out})g}{\nu T}}$$



迴流池示意圖(A)(A')及其 $\bar{G}$ 值分佈(B)

#### (5) 串聯式膠羽池穿孔流之混凝能量

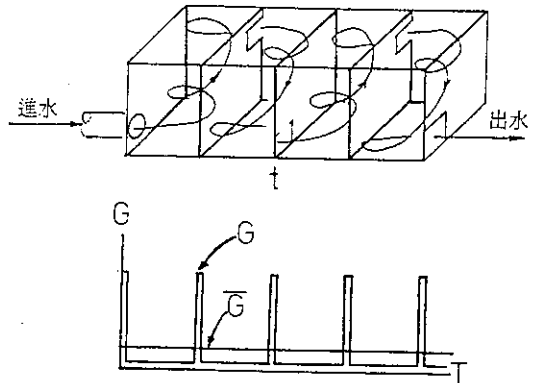
串聯式膠羽池在未施予機械攪拌時，水流及G值的分佈如下圖所示。其水頭損失可由水力經驗式估算：

$$H = \sum_{i=1}^n 0.08 V_n^2$$

式中 $n$ 為串聯之池數；

或直接量測進出口水位差： $H = H_{in} - H_{out}$

再代入公式(13)：
$$\bar{G} = \sqrt{\frac{gH}{\nu T}}$$



串聯式膠羽池穿孔流及其 $\bar{G}$ 值分佈示意圖

#### B. 膠羽池的機械攪拌能量

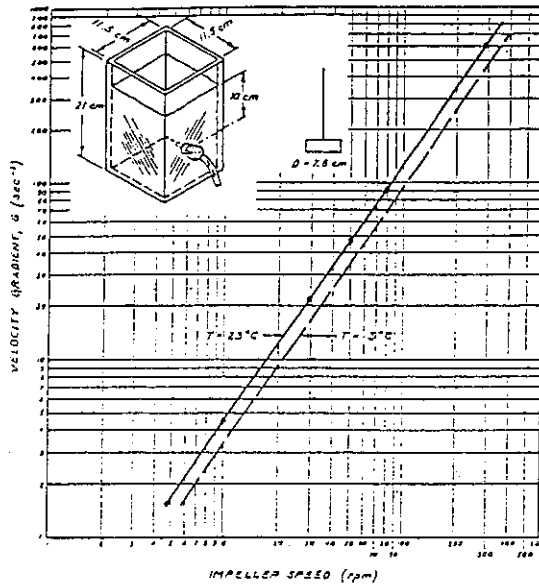
膠羽池的混凝能量來自前(5)所述水力坡降；及機械攪拌能量。其中機械攪拌能量係利用公式(11)及(12)。

### 3-3 杯瓶試驗

#### 3-3-1 設備

(一)杯瓶試驗機係用英國 Phipps & Bird 廠牌者。

(二)方形杯瓶 ( Gator Jar ) : 係在國內訂製，壓克力材質，容量 2 公升，水面下 10 公分有取樣管 (如下圖)。



杯瓶試驗攪拌葉轉速與G值對照圖

#### 3-3-2 混凝條件之模擬

由 G 值推算 rpm 參照上圖之操作曲線。

由於杯瓶試驗機的最大轉速為 200rpm，相當於  $\bar{G} = 330S^{-1}$ ，無法模擬蝶閘，或快混機的攪拌條件，乃採延長攪拌時間使 GT 相當的方式。

#### 3-3-3 杯瓶試驗步驟

所有杯瓶試驗皆以下列步驟執行：

(一)原水檢驗：包括水溫、濁度、鹼度、pH、DS。

(二)加藥：皆以稀釋為 0.2% 之混凝劑儲備液添加，原則上使用前將 2% 之原儲備液稀釋 10 倍使用。

- (三)攪拌條件：依模擬對象單元而設定。原水管閘門或閘所致穿孔流之瞬間快混，往往與分水井快混能量合併處理，以簡化模擬操作。
- (四)沈降速度量測：攪拌後靜置，定時自水面下 10 公分取樣測濁度（通常靜置 1, 2, 5, 10 分鐘即相當沈降速度 10 CM / min , 5 CM / min , 2 CM / min , 1 CM / min ），可得沈降速度 vs. 殘留濁度關係圖。
- (五)混凝靜置水樣之水質檢測：包括鹼度、pH、DS（或導電度），及水面下 1 公分水樣之殘留濁度及殘留鋁。

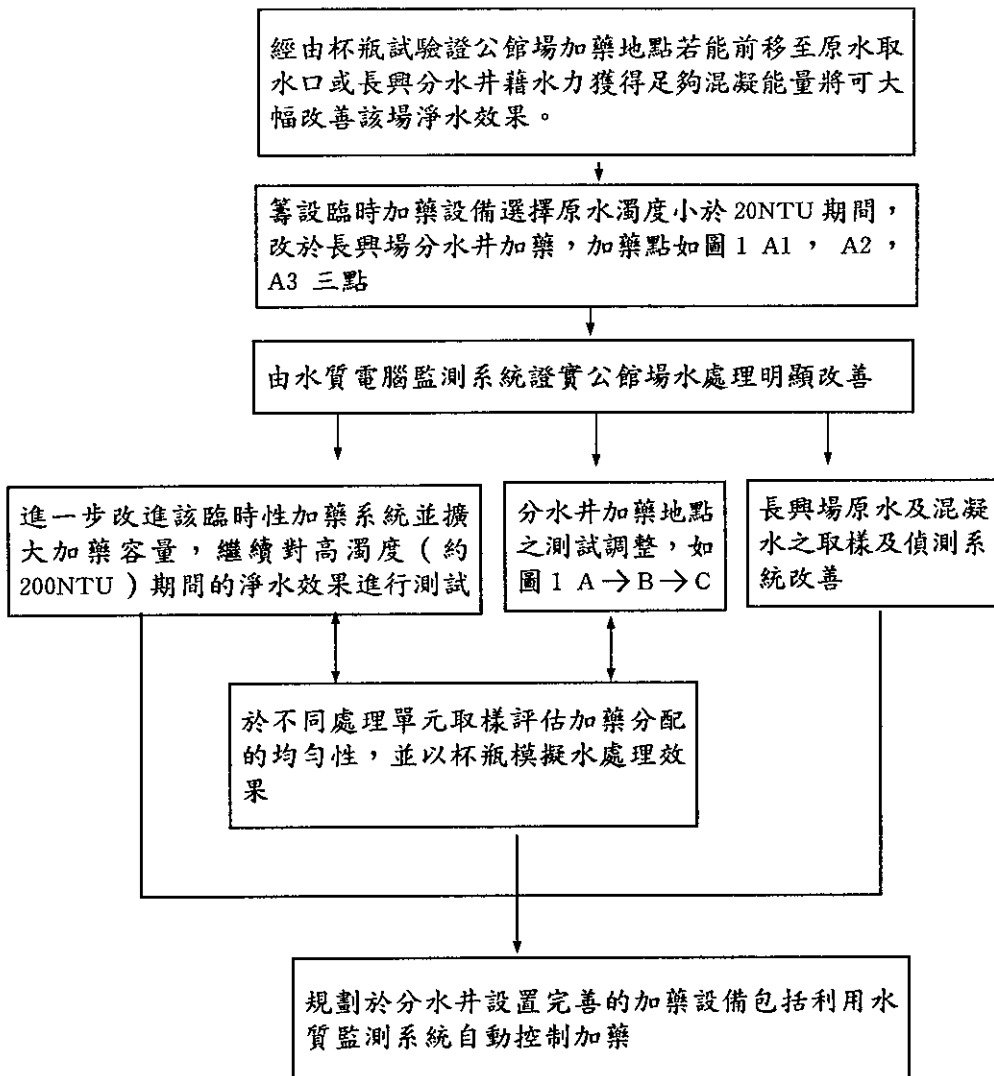
### 3-3-4 檢驗方法：

- 各項目大都採美國水質標準檢驗法第 16 版之方法。
- 濁度：HACH 18900 型桌上型濁度計。
- 總鋁及溶解鋁：採用 P.V.C 法（Pyrocatechol Violet Complex）<sup>(10)</sup>

## 3-4 分水井加藥試驗

### 3-4-1 試驗之構想與作業流程

近年來公館場水處理效果始終不理想，較同一水源之長興場差許多，期藉本研究研擬出最經濟，迅速的解決方案，以改善其淨水效果，則不僅於暴雨高濁度期間，確保出水水質，並維持正常出水量；且能將二場原有之七套加藥系統簡化為一，可大幅簡化加藥及監測作業。相關構想及測試流程如下：



### 3-4-2 水質監測

- (一)原水監測：由於在分水井加藥，原有之原水採樣點如圖 1 中  $S_1$ ，所取的水樣成為分水井加藥後之混合水樣，乃將原水採樣點前移至圖 1 中之  $S_2$  之位置。原水取樣管通往加藥室及化驗室，並與電腦連線，監測濁度。
- (二)加藥後之混合水樣監測：利用原有  $S_1$  之取樣點取樣，將水樣也通往加藥室及化驗室，自加藥點至水質偵測器的流程約 1 分鐘，大幅縮短反應加藥操作所需的時間。監測 Streaming Current 及 pH。

(三)淨水各單元之水質監測：長興場之水質監測原則上同樣性質之水，皆共用同一台偵測器採輪測方式，因此長興場 32 個偵測點項，僅用 6 台偵測器，公館場之偵測系統亦類似，皆與電腦連線<sup>(1)</sup>。

(四)偵測儀器：Streaming Current 偵測器 ( monitor ) 係美國 CHEMTRAC SYSTEMS INC. 公司產品，型號 Model 3000XR，其餘偵測器及連線方式等詳參考資料 11。

## 第四章 結果與討論

### 4-1 長興場與公館場水質概況—既有數據之彙整分析

#### 4-1-1 一般趨勢

研究進行期間（80年9月～81年5月），青潭堰原水及長興場、公館場之水質如圖 3(A)(B)(C) 所示。原水濁度在颱風季節高達千度以上，且高濁度持續二十餘日外，其餘季節之大雨所致高濁度日平均值大都在一百度以下。由沈澱水及清水濁度可明顯看出，該二淨水場之淨水效果差距頗大。尤其就快濾池的濾程來看(D)，公館場除於分水井加藥試驗期間濾程提高到48小時外，其餘時間濾程幾僅為長興場濾程之半；更凸顯其淨水效果之差。

由於公館場水處理效果不佳，往往需較長興場加注更高之混凝劑量（成本常高出20～50%），但效果仍較差。類似之情況亦出現在長興場的水平西側單元，往往需較其他淨水單元增加藥量（約提高30～50%之加藥成本），但效果仍不理想。

#### 4-1-2 淨水效果曲線比較

長興場與公館場在分水井集中加藥前之原水濁度對應沈澱水濁度之淨水效果曲線如圖4所示。長興場之混凝沈澱效果遠較公館場為佳。由圖5可知長興場過濾效果佳，出水穩定；而公館場隨沈澱水濁度上升，清水濁度即相應增高，考量其濾程僅24小時約為長興場的一半，更顯見其淨水效果不理想。

### 4-2 淨水場各處理單元混凝能量之推算與檢討

長興場及公館場與混凝相關之參數彙整如表1～3。其中由水力條件產生之混凝能量（G值）係依前章3-2-2A所述方法求得。機械攪拌能

量則利用公式(11)及(12)計算得到。

由圖 6 ~ 8 可知，改由分水井加藥對淨水各單元之混凝能量皆有增進，尤其原屬混凝能量嚴重不足的公館場幾乎增加 10 倍（由  $0.5 \times 10^5 \rightarrow 3 \times 10^5$ ）。長興場混凝能量之提昇幅度雖不若公館場，但各單元最關鍵性的快混能量皆顯著增大（由各單元分別加藥時  $\bar{G} = 162 \sim 410S^{-1}$ ，變為  $450S^{-1}$ ；且分水井加藥屬渦流， $\bar{G}$  值遠較原先管內加藥為均勻），符合理論上：「瞬間高能量快混使加藥迅速分散均勻」之要求。原屬混凝效果不佳之長興場水平東側單元之混凝能量亦增大 1 倍（由  $0.5 \times 10^5 \rightarrow 1 \times 10^5$ ）。

### 4-3 杯瓶試驗模擬

#### 4-3-1 分水井加藥之先期模擬—原始構想之印證

由以往杯瓶試驗之經驗得知，原屬混凝不理想之杯瓶試驗，若任由其繼續攪拌長時間後往往會有較好的混凝結果。在公館場混凝改善對策的醞釀過程中，曾思及原水導水管中水流能量的利用。

乃設計模擬由青潭堰取水口加藥（水流時間的 80 分鐘），及由長興場分水井加藥（流至公館場約需 35 分鐘）之杯瓶試驗，結果如表 4。顯示在實驗情況下（即原水濁度 20NTU），若將加藥點前移，在節省約 25% 的加藥成本情形下，（ALUM 20PPM  $\rightarrow$  15PPM）亦可大幅增進混凝效果。

#### 4-3-2 分水井加藥模擬之主題及混凝條件

杯瓶試驗主要係為模擬加藥點前移至長興場分水井對淨水效果之影響。模擬對象為公館場南側單元及長興場水平單元。分別探討混凝能量的改變（增加）在：(1)高濁度原水 vs. 低濁度原水；(2)ALUM vs. PAC；(3)加藥不足 vs. 加藥過量或適量；(4)低水溫 vs. 常溫等各種狀況下，對混

凝所造成的影響。

此外，由於加藥點前移，分水井加藥再經原水導水管後已經相當混凝（ $\sum \bar{G}_t$  約 16000 以上）在進入處理池之前膠羽已形成，為探討既有快混機之運作是否會破壞膠羽，影響整體混凝效果，乃以長興場水平東側單元模擬快混機 ON vs. OFF 之狀況，以瞭解慢混前之膠羽破碎對混凝之影響。

#### 4-3-3 模擬結果與討論所有杯瓶試驗模擬之結果如圖 9 ~ 14 及表 6 綜言之：

- (一)對公館場言，在低加藥量情況下（ALUM 10PPM）改由長興場分水井加藥皆較原先場內加藥效果顯著增進，沈降速度往往增進 2 ~ 3 倍（圖 9）。
- (二)低水溫對混凝的影響：在混凝能量高（分水井加藥）的情況下，幾無影響；但在混凝能量低時會造成負面影響（圖 10）。
- (三)在混凝能量不足的情況下，為達相同混凝效果，往往需過量加藥；或以 PAC 取代 ALUM（圖 11）。以處理白濁水為例，場內加藥 PAC 10ppm，與分水井加藥 ALUM 10ppm 效果相當（圖 12），但成本高達 2.7 倍，由此可見分水井加藥之經濟效益。
- (四)對長興場水平東側單元而言，改由分水井加藥之混凝效果改善顯著（圖 13）。
- (五)在快混能量未過量時導水管中所形成膠羽經快混機高能量攪拌，不但無膠羽破碎的困擾，所增混凝能量，反而有助混凝（圖 14）。

#### 4-3-4 杯瓶試驗與現場混凝效果之比較與分析

各淨水單元之沈澱水濁度間有相當差異，但取各單元膠凝池出口水樣以杯瓶模擬沈降速度，其沈降性皆不理想且單元間之差異不明顯；以類似現場表面負荷之殘留濁度對照，顯然與現場沈澱效果有相當差距。

乃針對長興水平西單元取樣作模擬比對：①取膠凝池 出口水樣以杯瓶作沈降速率量測；②取膠凝池入口 水樣以杯瓶模擬慢混及沈降速率量測；並比對現場沈澱水濁度。結果對照如圖 15。顯示在相同  $Q/A$  時，殘留濁度高低依序為：①現場慢混後水樣以杯瓶模擬沈降  $>$  ②杯瓶模擬現場慢混之沈降試驗  $>$  ③現場沈澱水。推斷其原因如下：

(1) 杯瓶模擬慢混之能量 ( $\sum GT = 10S^{-1} \times 960S = 9600$ ) 並不高，而其均勻性遠較現場混凝為佳 (參考表 5)，混凝效果較為理想，沈降殘留濁度乃較現場者為低 (i.e ①  $>$  ②)。

(2) 實場沈澱水相當於沈降率小於現場實際  $Q/A$  之上層水，因此濁度較低 (i.e ②  $>$  ③)。此外，平流式沈澱池有效水深約 3.5 米，顆粒間沈速差異所引致之混凝沈澱效果乃發揮相當作用。

有關實場慢混能量分佈不均的現象，或可經由增加槳板的數目 (不同角度) 並調低轉速而獲得改善。

#### 4-3-5 混凝能量與殘留鋁的相關性

在混凝能量不足的情況下，杯瓶混凝靜置之上層液常呈白濁狀，顯示混凝效果不佳，不僅濁度之去除不理想，且會造成殘留鋁偏高情形 (如表 6)。

### 4-4 分水井加藥實場試驗

#### 4-4-1 分水井加藥之效果

##### 4-4-1-1 由趨勢掃描圖評估

於長興場分水井集中加藥之實驗始於 3/13 16:50，持續至 5/1 18:30 (其後再自 6/8 16:00 ~ 6/13 9:30 及自 6/15 17:10 後持續)。由圖 16(B) 可明顯看出，原與長興場 (東沈三) 沈澱效果有相當差距的公館場 (南沈) 沈澱水濁度，自分水井加藥後即顯著改善，而達與長興場類似之處理效

果。另值得注意的是，分水井加藥後，公館場由於混凝效果顯著改善，而將快濾池之濾程控制由原例行之 24 小時延長為 48 小時（圖 3(D)）。

由於濾程延長 1 倍，濾池之反沖洗砂廢水量即減少一半，由原先之耗水率 1.6 % 降為 0.8 %。

#### 4-4-1-2 由淨水效果曲線評估

##### (一) 公館場與長興場比較

分水井加藥試驗期間（3/13 ~ 5/31）之水質數據由 3.1 節之資料檔中抽取出來，做淨水效果曲線如圖 17。另將其餘時段原水日平均濁度 70 度以下之數據篩選出來，同樣做淨水效果曲線如圖 18，可知公館場在分水井加藥後淨水效果明顯提昇，由斜率來看混凝沈澱效果增進約 10 倍，過濾效果增進 3 倍。由相關係數來看，原水濁度與沈澱水濁度，及與清水濁度間之相關性，皆從有相關性（0.55 及 0.71）變為完全無相關性，即處理效果相當穩定，不受水質變化之影響。

就長興場而言，因分水井加藥期間，高濁度時偶有加藥不足情形；且或由於加藥不均致水平單元藥量較低；及單元間分水並未十分理想，而使水平單元偶有濁度偏高情形，使其混凝沈澱效果略為變差（相關性增加， $0.45 \rightarrow 0.77$ ，斜率增加約 1 倍， $0.047 \rightarrow 0.088$ ）；但過濾效果反而有增進趨勢（相關性不變皆為 0.32，斜率  $0.075 \rightarrow 0.043$ ）。

(二) 公館場與去年同時期比較將公館場 80 年與 81 年同月（4 月）份之水質資料分析比較得圖 19。顯示分水井加藥後公館場淨水效果顯著提昇。由斜率來看，混凝沈澱效果增進 3 倍，過濾效果增進 ~ 50 %，整體淨水效果增進 10 倍。由相關係數來看，淨水處理穩定性增進（相關係數降低： $0.91 \rightarrow 0.84$ ； $0.61 \rightarrow 0.42$ ； $0.42 \rightarrow 0.11$ ）。

## 4-4-2 分水井加藥均勻性及其影響之探討

### 4-4-2-1 分水井加藥系統之改進經過

本研究在無研究經費下，為探討分水井加藥之可行性，乃以最克難之方式：調借雙溪場已停用之加藥機，接臨時加藥管線，由分水井水面上直接加藥（圖 1）。由於水流撞及分水井壁後往兩側成渦流分散，可能將表面較高濃度（約為加藥指令之 10 倍）之藥帶入兩側之原水管，即長興場安西、安東、及公館場 2000mm 原水管，而使順水流下方之水平東及水平西 1400mm 原水管所取之水含藥較低。

經初期加藥測試發覺淨水各單元間藥量有不均現象（詳下節）；乃在原加藥點加裝軟管，深入水中約 1m（總長 4m），隨水流而擺動，均勻性較有改善，但仍非十分理想；乃作第二度改善；在原加藥點，加裝不鏽鋼管，伸入水流中央（即水面下 1.7m），經測試顯示均勻性已較前為佳。

### 4-4-2-2 加藥均勻性探討

本研究經下列方法研判分水井加藥之均勻性：

#### (一) pH：

由共用計 pH，輪測各單元混凝水 pH 值，比較其間異同，即可得知各單元加藥是否均勻。但由於長興場各單元前加氯難以均勻，對各單元 pH 值之量測乃造成不同程度的干擾，因而須在前加氯暫停的情況下，方可為之。圖 20 顯示前加氯暫停後安東、安西二單元 pH 值相近且較低；而平東、平西二者亦相近且 pH 值較高。即前者加藥量較高，後者加藥量較低。

#### (二) 總鋁：

測各淨水單元之總鋁量，可推知實際加藥量，而研判各單元間加藥

量之差異（均勻性）。由表 7 可知分水井加藥並非十分均勻；經第一次改善加藥點後均勻性略有改進。其中公館南北側應屬完全相同水樣彼此間仍有 18% 之差異，顯示取樣批次間之差異不小，亦或許總鋁檢驗之控制欠理想所致。

#### 4-4-2-3 加藥不均之影響

圖 21 及圖 22 分別顯示在加藥系統第一次改善，及第二次改善後高濁度原水情況下，各單元間加藥不均對混凝沈澱所造成之影響。

由圖 21 可知原水低濁度時，長興場水安單元（東沈三）與公館場（南沈）之淨水效果類似，而長興水平單元因加藥及慢混能量不足效果較差，沈澱水濁度分別為 1NTU 及 3NTU。在原水濁度 200 度之波峰下，長興場水安單元及公館場沈澱水濁度僅 2~3 度；而水平單元因實際加藥濃度僅為加藥指令之 75%，因此沈澱水濁度高達 8~9 度。原水濁度降低而將加藥指令由 PAC30ppm，降為 20ppm 時，公館場及長興場水安單元之沈澱水濁度一直平穩保持在 2 度左右。水平單元在改藥量前，相對於原水濁度降至 100 度，實際加藥量較足，其沈澱水濁度即降至 5 度；但改藥後，加藥量又呈現不足，沈澱水濁度又急驟上升到 8~9 度；所幸清水濁度（圖 (C)）皆未受影響。

由圖 22 亦可見類似結果。對應於原水濁度 200 度之波峰，加藥及慢混能量不足的水平單元，沈澱水出現 11~12 度之波峰，隨後降至 6~8 度；而水安單元及公館場沈澱水濁度僅出現不明顯的 3~4 度波峰，隨即穩定由 3 度降至 2 度。本案例在 14:00~15:00 間曾發生加藥不穩定情況（該臨時性加藥系統在低加藥量時，容易發生加藥不穩定情形），加藥量嚴重不足（由圖 (D)）相應時段前 streaming current 之下降及 pH 值之上升可得知，而在原水濁度穩定下降時出現不應出現的另一沈澱水波峰。

綜上述二案例可知：即使該臨時性加藥系統在分水井加藥有不均現

象，因應原水高濁度效果仍屬理想，清水濁度皆在1度以下。在加藥均勻性進一步改善前，各單元負荷率若能稍作調整，或能使各單元間之淨水效果更為理想。

#### 4-4-3 淨水處理之水質監測系統及加藥系統檢討

本處水質電腦監測系統已將水處理關鍵性的各項水質納入監測，且兼顧儀器設備精簡（易於維校）及水質數據便於比對等原則，淨水單元間大都採「共用偵測器輪流監測」的方式，對水處理狀況的掌握頗具實效。

本研究除利用既有之水質監測系統外，另試用streaming current ( S.C. ) 偵測器，祈對原水變化及加藥控制作更佳的掌握。圖 23 中混凝水之 pH 與原水 pH 變化趨勢完全一致，顯示係加藥穩定之情況；相應之 S.C. 亦穩定。圖 22(D) 中加藥不足時，pH 即上升，相應之 S.C. 則同步下降；圖 22(C) 中可見加藥不足對清水濁度隨即造成負面影響。公館場因過濾池功能較不理想，其所受衝擊乃較長興場大。實驗中試用 S. C. 偵測器的結果，確定其對原水水質變化及加藥失控的偵測與 pH 計有相輔相成之功效，且較 pH 更為敏感，對淨水監控作業而言，確屬相當實用。

今後若決定集中於長興場分水井加藥，加藥控制的「萬無一失」更屬必要。為提昇加藥監控功能，除應對混凝水增設 S.C. 偵測外；原水濁度及混凝水 pH 更應採多重監測方式，則可利用三台偵測器中任二台以上的測值作為自動加藥的回饋控制參考訊號。本處在「水質監測系統的探討」<sup>(1)</sup> 研究中，於雙溪淨水場籌設之半自動加藥系統，即是利用原水濁度及混凝水 pH 多重監測回饋功能，並採手調基本加注量配合分段自動微調的方式加藥。經測試一年的結果顯示輔以水質電腦監測系統嚴密監控的半自動加藥系統，可對淨水處理提供更進一步的保障。即將籌設的長興場分水井加藥設施，當可基於雙溪場半自動加藥系統的經驗，更上一層樓。

## 第五章 結論與建議

- (一)長興場與公館場合計七套處理單元間混凝能量差異大，加藥系統複雜，影響淨水之穩定與效果，本研究試驗由長興場分水井集中加藥後，不僅使加藥系統簡化為一；且大幅提昇混凝能量：長興場水平單元增大1倍，原屬混凝能量嚴重不足的公館場混凝能量幾乎增加10倍。
- (二)慢混前混凝能量的增加，可提昇混凝效果，對自來水濁度及殘留鋁的降低皆有關鍵性的正面影響。無論在高濁度、低濁度、白濁水、低水溫、加藥過量、加藥不足…等情況下，皆因混凝效果之增進，而大幅提昇淨水因應能力。
- (三)在混凝能量不足的情況下，杯瓶混凝靜置之上層液常呈白濁狀，顯示混凝效果不佳，不僅濁度之去除不理想，且會造成殘留鋁偏高。
- (四)公館場在分水井加藥以來淨水效果顯著提昇，由淨水效果曲線之斜率看來，混凝沈澱效果增進3~10倍，過濾效果亦增50~300%倍，整體淨水效果增進10倍以上。不僅以往須提高加藥量20~50%且效果仍不佳之情況不再；加藥量稍不足下，處理效果亦佳；由於淨水效果顯著改善、濾程延長1倍，反沖洗砂耗水率由原1.6%，降為0.8%。
- (五)目前分水井加藥係克難之臨時性加藥系統，雖經不斷的嚐試改進，各單元間加藥分配之均勻性仍未十分理想。將來籌設正式之加藥系統時應加強系統瞬間分散藥品之功能，原則上氫氧化鈉加注點應與混凝劑加注點分開；藥品之注入伴以大量稀釋水且深入水中為佳。
- (六)將來若決定集中於長興場分水井加藥，加藥控制的「萬無一失」更屬必要。為提昇加藥監控功能，除應對混凝水增設 streaming current 偵測外；原水濁度及混凝水 pH 更應採多重監測方式，則可利用

double check 測值作為自動加藥回饋控制的參考訊號。

- (七) 本研究中所用的方型杯瓶 ( Gator Jar )，將傳統之杯瓶試驗提昇為可量化比較沈降速度的工具，對混凝效果的比較和詮釋甚有助益，值得今後淨水控制例行實驗中採用，以累積更實際的經驗和數據，促進淨水技術的提昇。
- (八) 一般淨水場之設計因考量混凝能量的動力消耗而不設過大的混凝能量，但對有「自然水頭」可供利用的水廠而言，應儘量利用原水導水管，甚至分水井之水頭。對需要繼續作擴建之淨水場而言，除前項因素之考量外，且需考量加藥系統及水質監控作業的「精簡」問題，尤其人力不敷的情況下。本處直潭淨水場將繼續進行擴建，希望本研究之心得能供作參考。
- (九) 本研究中檢討長興、公館場歷經四期擴建的各套混凝單元，深深體會到「混凝設備應儘量利用土木設施水力條件」的重要與實際，畢竟機械式攪拌，維修不易，故障頻頻，常會嚴重影響淨水功能的穩定性。
- (十) 以往水處理人員 ( 淨水場工作人員 )，往往以信任或認命的保守態度接受既有的淨水設備，而局限在操作運轉上投入心力。本研究顯示，淨水場人員或須深入瞭解原設計參數，並分析比對運作之實際條件，檢視其不合理處，甚至回饋給原設計單位，才能有所突破。
- (十一) 混凝的理論與實務的結合，尚有廣大的空間；追求「最佳化」是一條永無止境的路。限於人力，本研究並未能涵蓋與淨水混凝亦屬息息相關的一些其他課題，如：高分子助凝劑的選用評估、污泥回收之最佳化運作、膠凝池慢混能量分佈不均之改善、連續式杯瓶試驗機的籌設…等，為淨水作業更上一層樓，這些都是緊接著下一步當做的研究。

## 參考文獻

1. Amirtharajah, A. "Initial Mixing" AWWA Seminar Proceedings , "Coagulation and Filtration back to the basics", PP.1-22 (1981).
2. 淨水廠設計，鍾淳昌主編，中國建築工業出版社，（1984）。
3. Cornwell, D.A., Bishop M.M., "Determining velocity gradients", AWWA Seminar Proceedings, "Coagulation and Filtration back to the basics" PP.103-124(1981).
4. 淨水技術實務，丹保憲仁、小笠原宏一共著，賴耿陽譯，復漢出版社，1986年。
5. 長興淨水場操作維護手冊，台北自來水事業處生產科，74年。
6. 公館淨水場操作維護手冊，台北自來水事業處生產科，74年。
7. 台北自來水第三期建設工程報告，台北自來水事業處工程總隊，68年。
8. 蟾蜍山淨水場擴建工程「淨水場水理分析」，中興工程顧問社。
9. 台北自來水第四期建設前段計劃，台北自來水事業處。
10. 葉宣顯等，原水水質及淨水場操作狀況對飲用水中含鋁量影響之研究，行政院環境保護署（1990）。
11. 江清蓮等，「水質電腦監測系統之功能與應用—台北自來水處之經驗」，第八屆自來水研究發表會論文集，PP.7-1～7-18，80年。
12. 史午康等，「快濾池操作最佳化的探討」，第八屆自來水研究發表會論文集，PP.8-1～8-25，80年。
13. 自來水水質穩定性的探討，台北自來水事業處生產科，78年。
14. 自來水工程設計指南（四）中華民國自來水協會技術研究委員會編製，72年。

15. 給水工程 ( 衛生工程、自來水篇 ) ，高肇藩編著，宏榮堂印刷，76年修訂版。
16. Singley, J.E., "Coagulation Control Using Jar Tests" AWWA Seminar Proceedings. "Coagulation and Filtration back to the basics" PP.85-102(1981).
17. Letterman, R.D., "Flocculation, AWWA Seminar Proceedings. "Coagulation and Filtration back to the basics", PP.45-58( 1981).
18. "Water Quality and Treatment", American Water works Association, 4th. ed. (1990).
19. "Water Treatment plant Design", American Society of civil Engineers, American Water Works Association, 2nd ed.(1990).
20. Morris, J.K., Knocke W.R., "Temperature Effects on the Use of Metal-ion Coagulants for Water Treatment", JAWWA, 74 : 3 : 74-79(1984).
21. Cornwell, D.A., Bishop M.M., "Determining velocity gradients in laboratory and full scale systems", JAWWA, 73 : 9 : 470-475(1983).
22. Bratby, J.R. "Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation systems", JAWWA, 71 : 6 : 318-325(1981).
23. Bratby, J.R. "Optimizing coagulants and flocculant aids for settling", JAWWA, 71 : 6 : 312-317(1981).
24. "Coagulation", Theme Introduction, JAWWA, 78:4:153(1988)

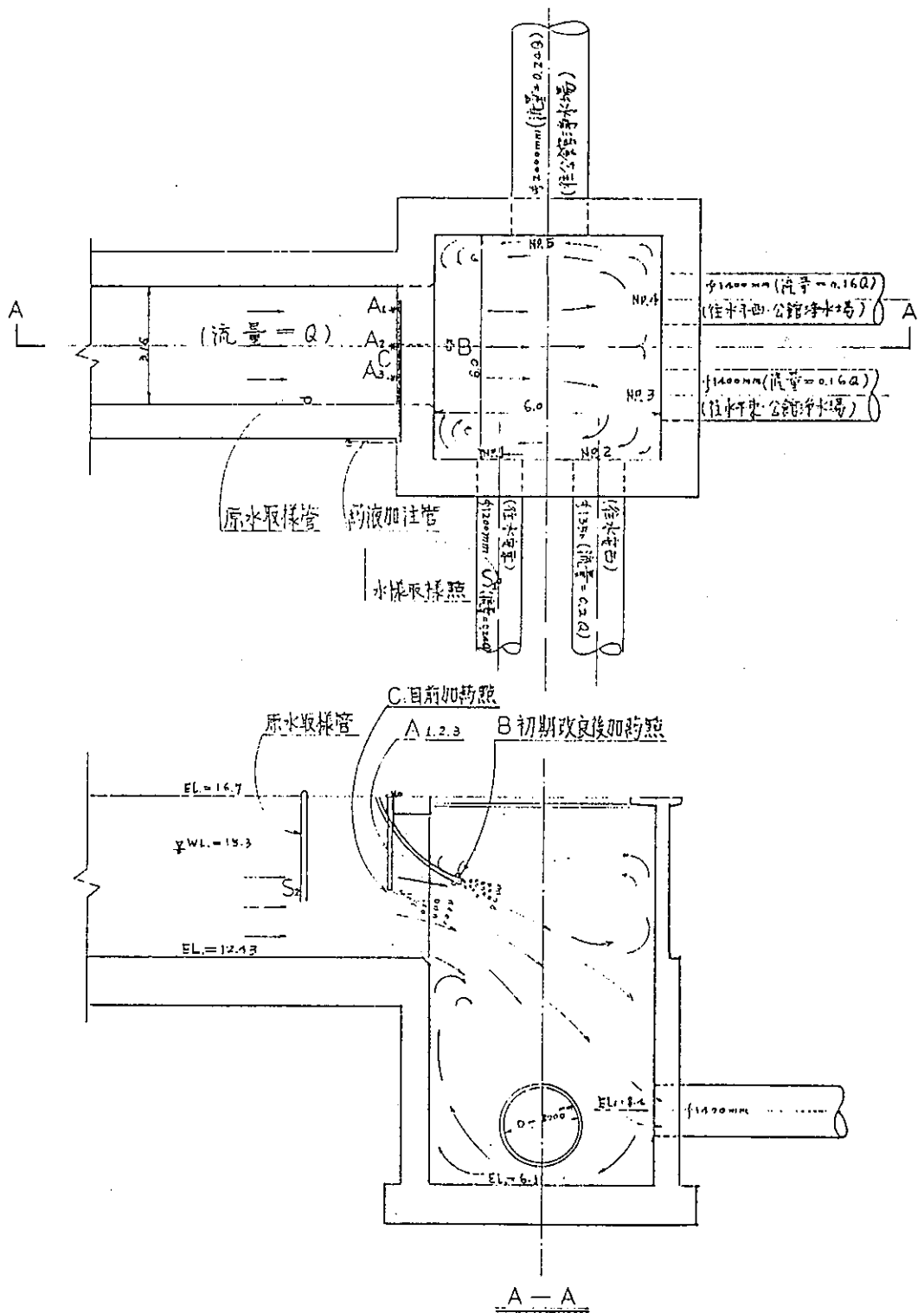


圖 1 分水井水流、採樣點及加藥點示意圖

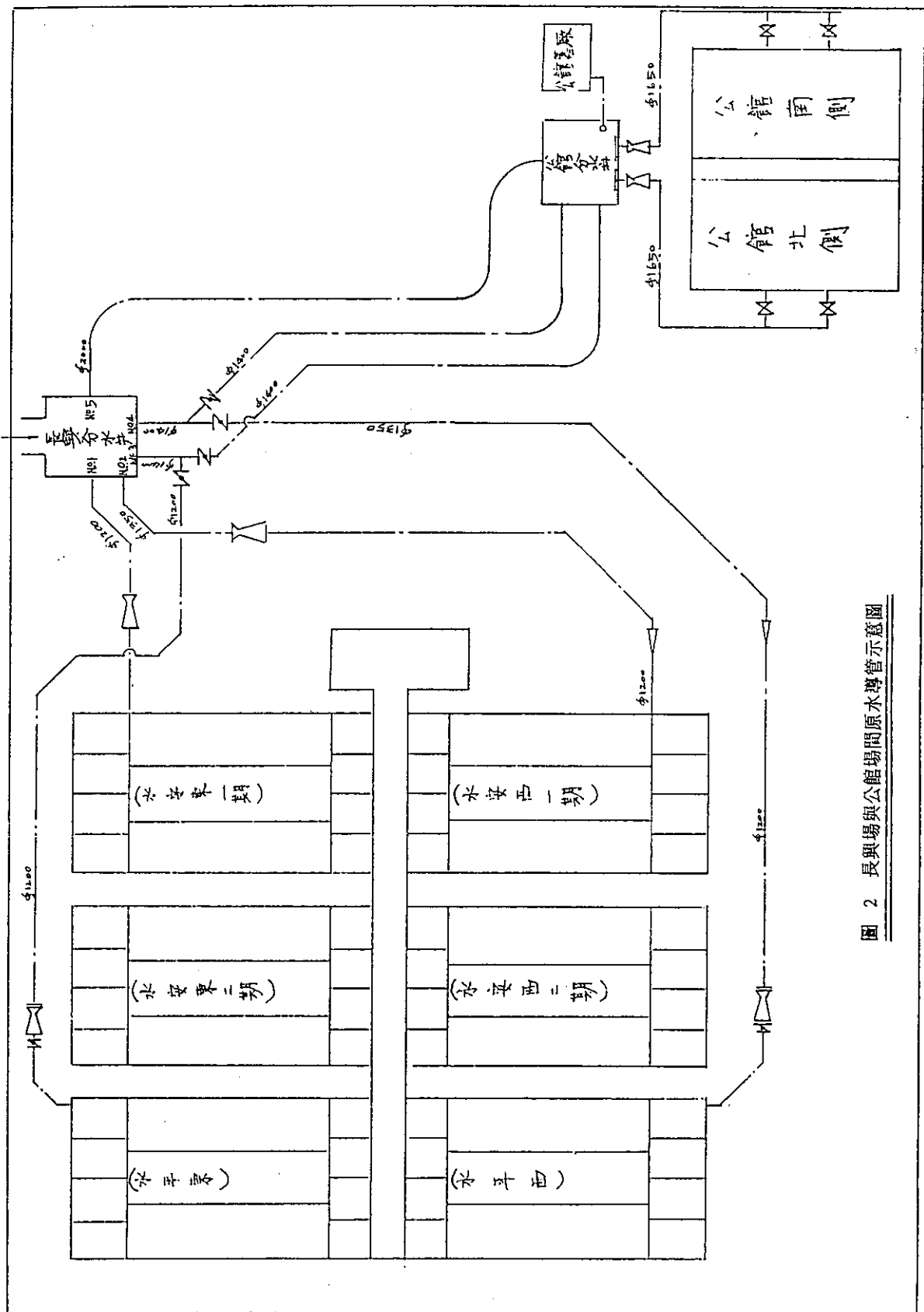


圖 2 長興場與公館場間原水導管示意圖

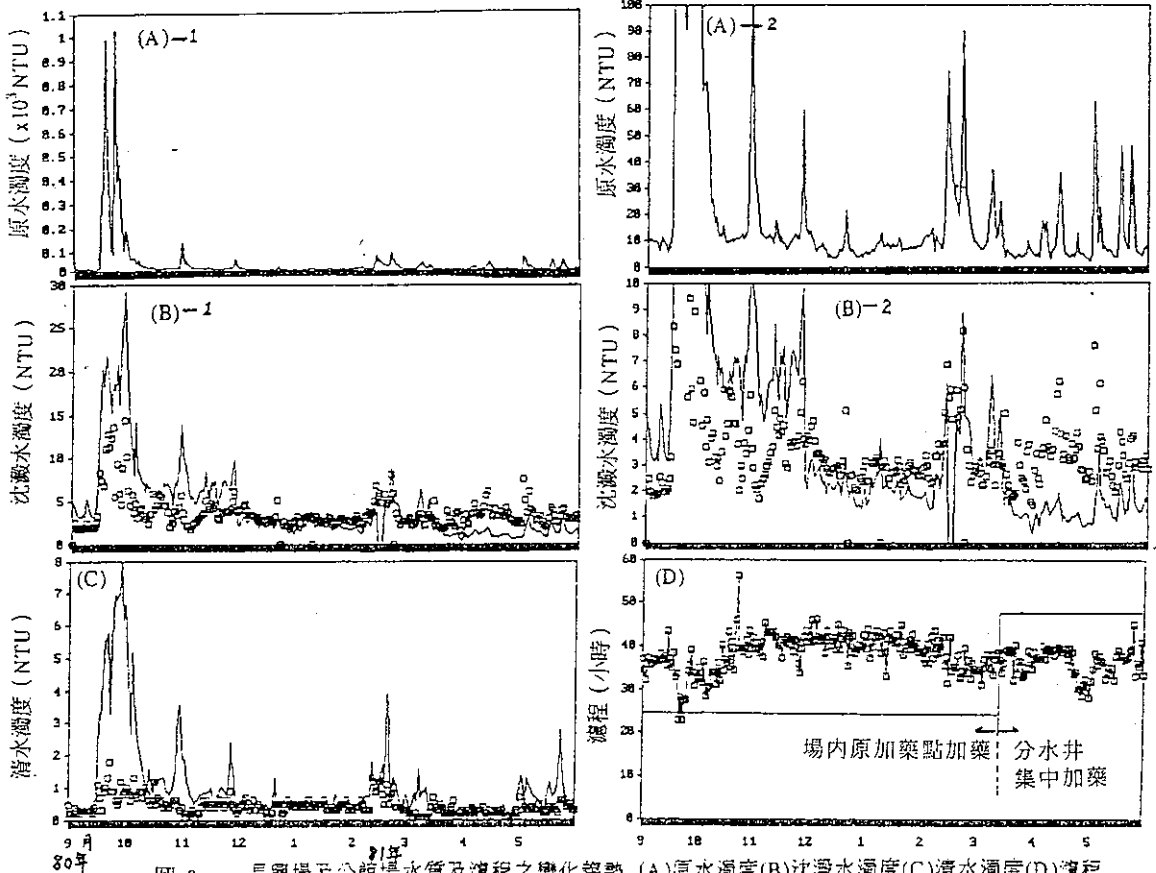


圖 3 長興場及公館場水質及濾程之變化趨勢 (A)原水濁度(B)沈澱水濁度(C)清水濁度(D)濾程  
 (□長興場      ×公館場      資料日期：80年9月~81年5月)

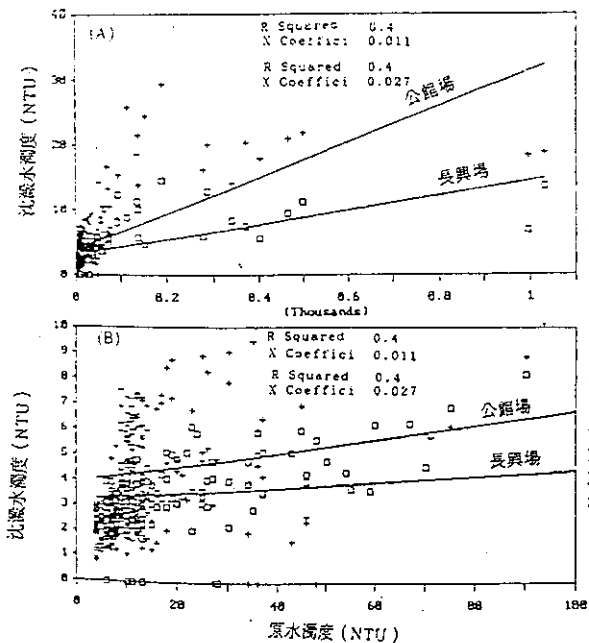


圖 4 長興場與公館場的混凝沈澱效果曲線比較  
 (A)原水濁度(0~11000NTU)·(B)原水濁度(0~100NTU)  
 (資料日期：80年9月~81年3月)

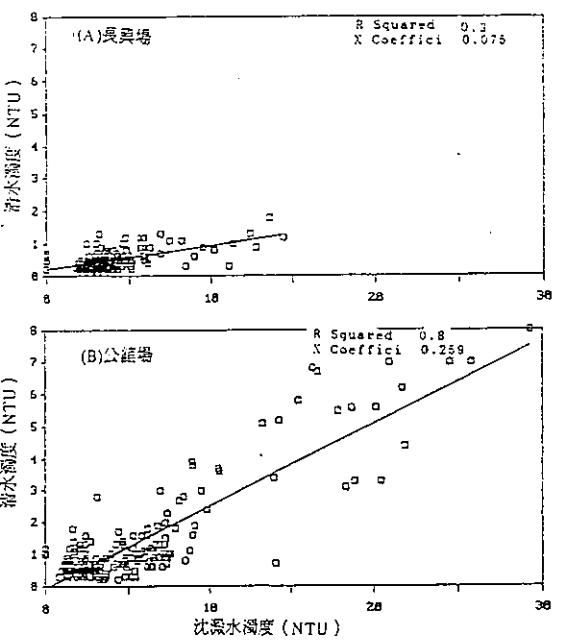


圖 5 長興場與公館場的過濾效果曲線比較  
 (資料日期：80年9月~81年3月)

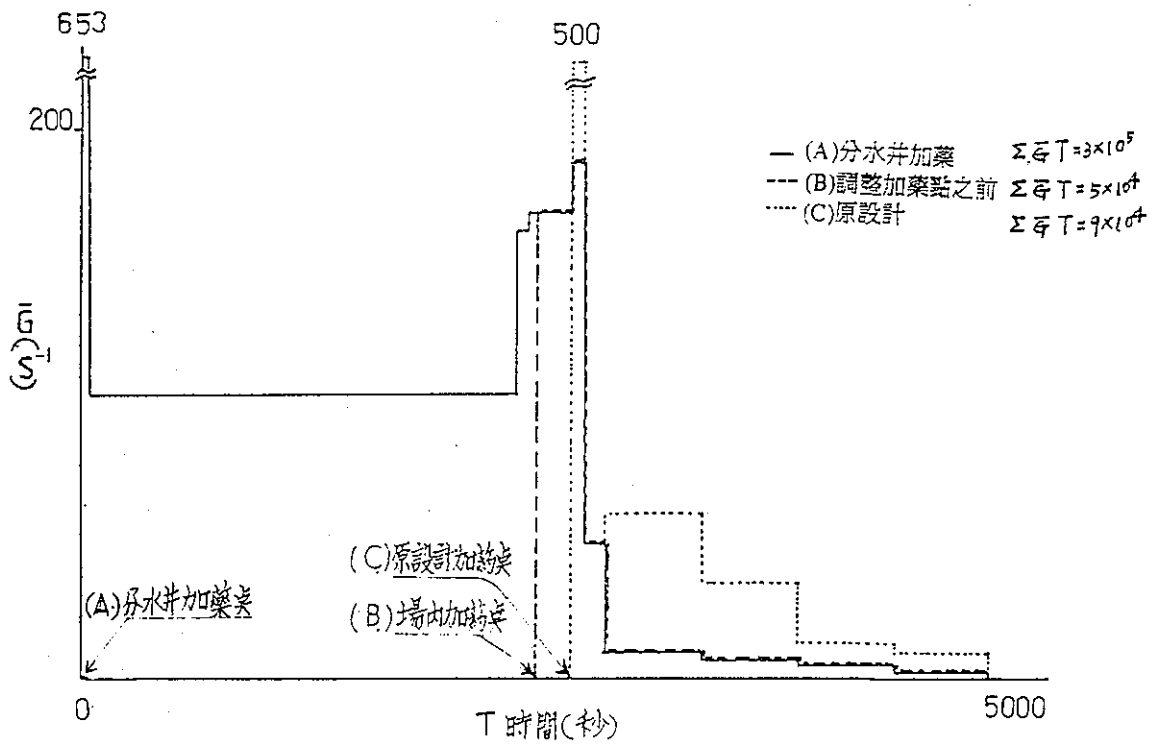


圖 6 公館場南側單元混凝能量對照圖 (A)分水井加藥(B)場內加藥(C)原設計

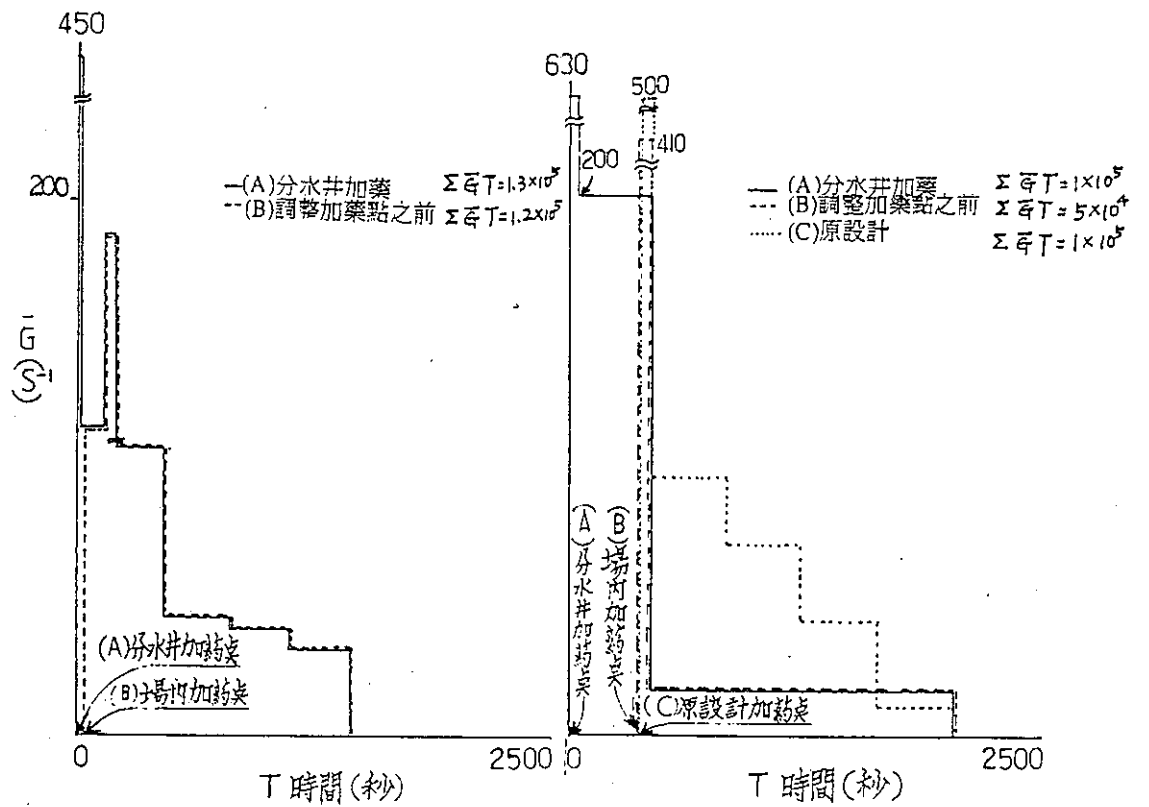


圖 7 長興場水安西側單元混凝能量對照圖 (A)分水井加藥(B)原加藥點

圖 3 長興場水平東側單元混凝能量對照圖 (A)分水井加藥(B)原加藥點(C)原設計

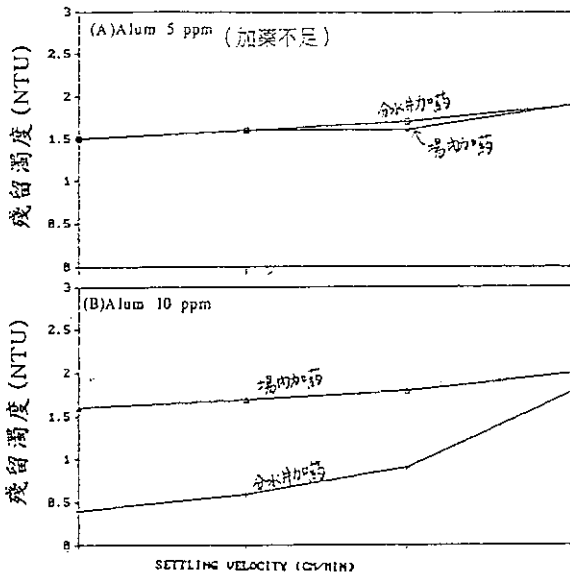


圖 9 公館場混凝模擬  
(註：原水濁度：2.6 NTU，鹼度：2.6 PPM)

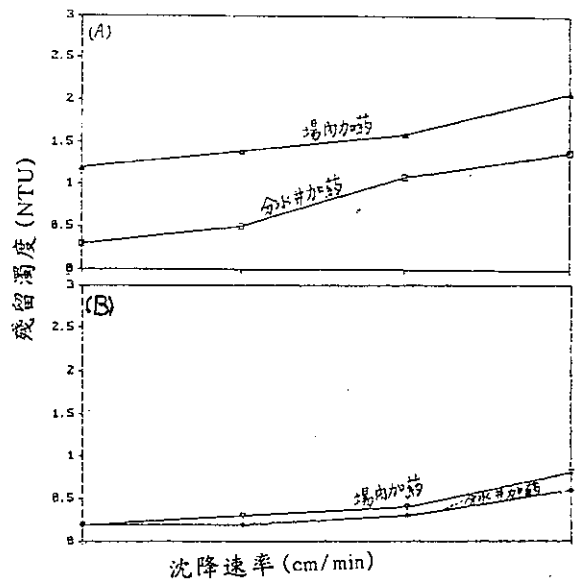


圖 11 公館場混凝模擬——加PAC  
(A)PAC 5 ppm (B)PAC 15 ppm

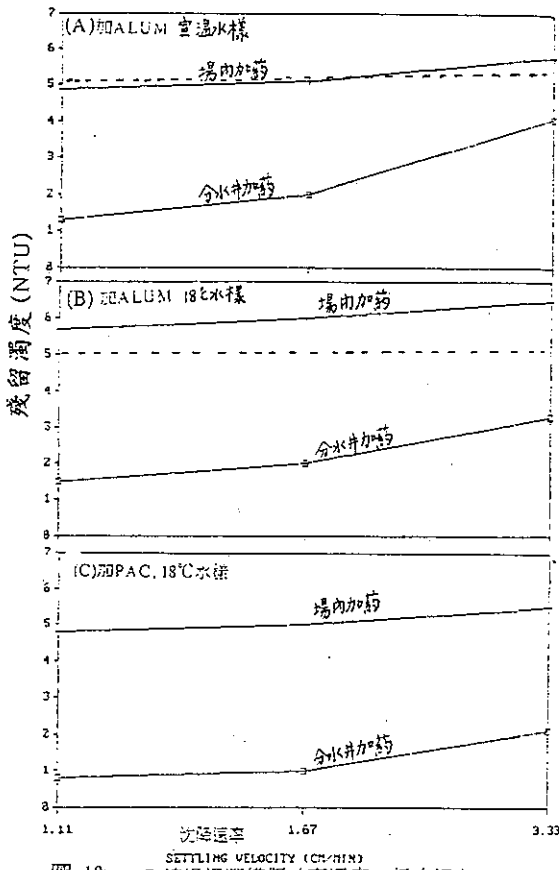


圖 10 公館場混凝模擬 (高濁度、低水溫)  
(A)加Alum, 室溫(B)加Alum, 18°C(C)加PAC, 18°C

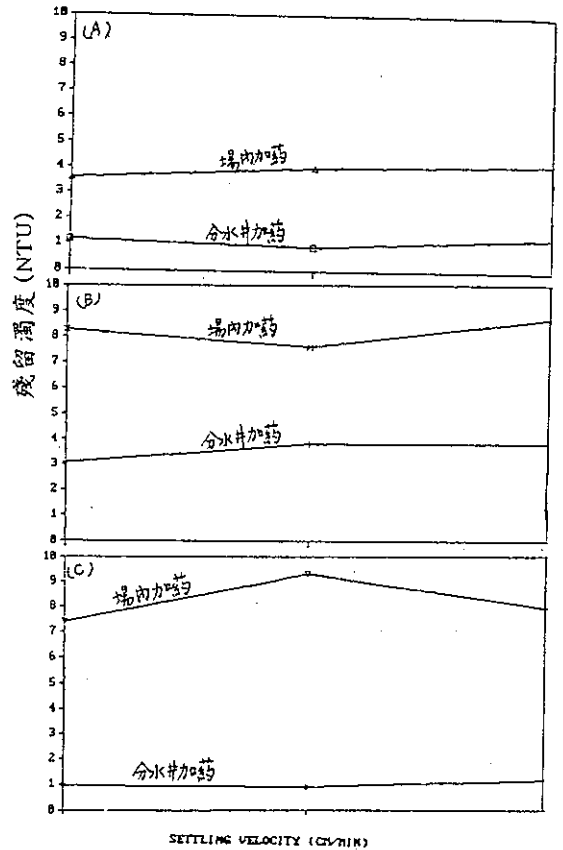


圖 12 公館場混凝模擬 (白濁水)  
(A)PAC 10 ppm(B)Alum 10 ppm(C)Alum 15 ppm

(註：原水濁度：9.5 NTU，鹼度：21 PPM)

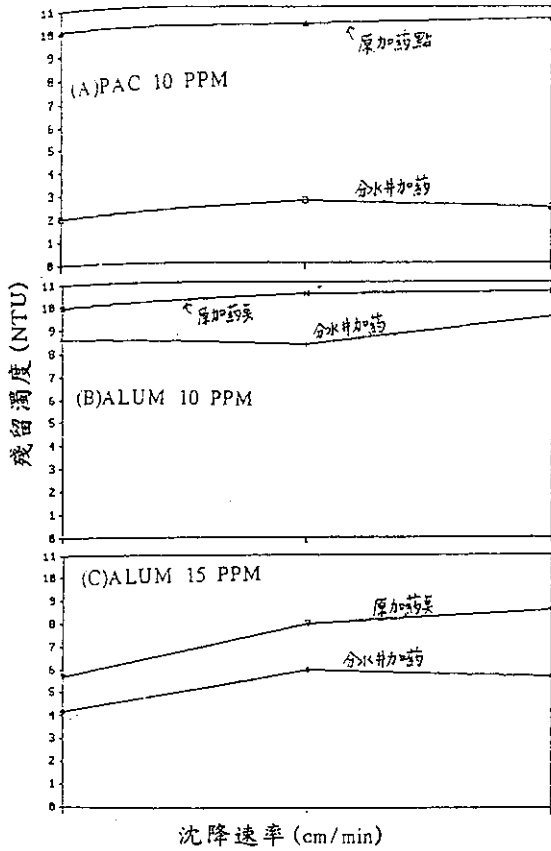


圖 13 長興場水平單元混凝模範 (白濁水)  
 (A) PAC 10 ppm (B) Alum 10 ppm  
 (C) Alum 15 ppm  
 (註：原水濁度：3.8 NTU，鹼度：21 PPM)

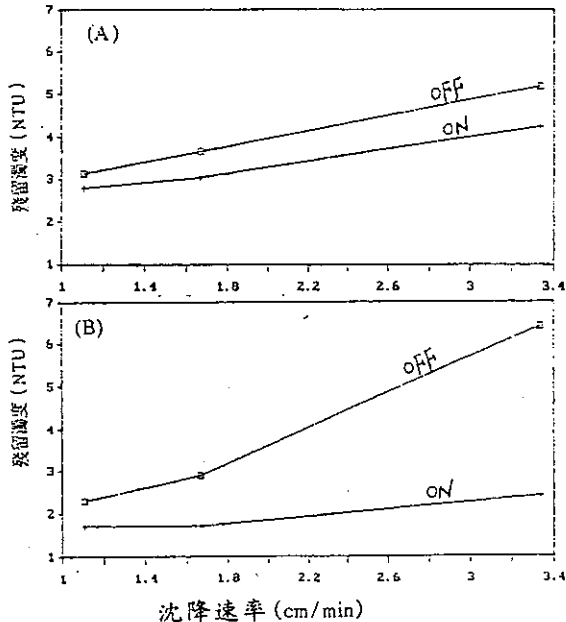


圖 14 長興場水平單元混凝模範 (依混凝ON vs. OFF)  
 (A) Alum 20 ppm (B) PAC 10 ppm

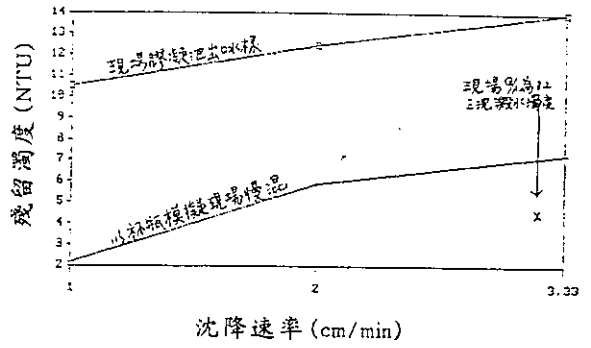


圖 15 現場與杯瓶後混效果比較

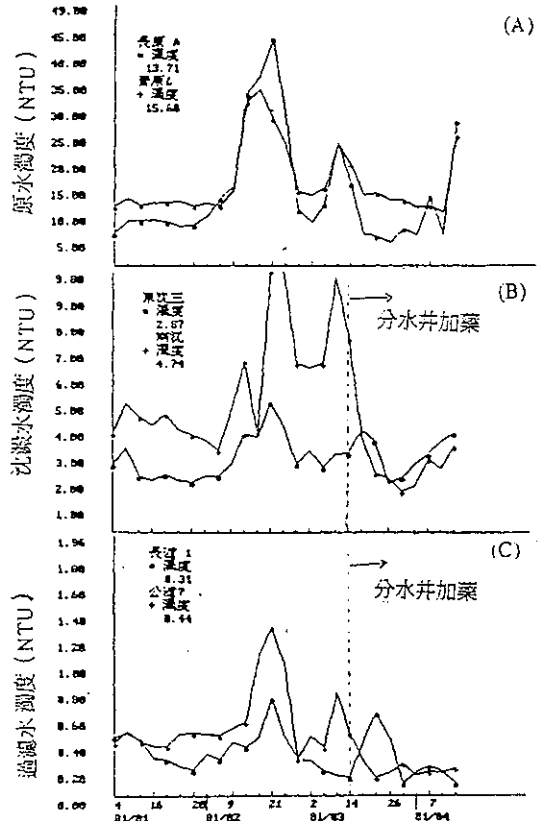


圖 16 長興場與公館場水質變化趨勢圖  
 (為比較分水井加藥前後之差異)

(註：分水井加藥期間 3/23 下午 4 時 - 5 時 30 分)

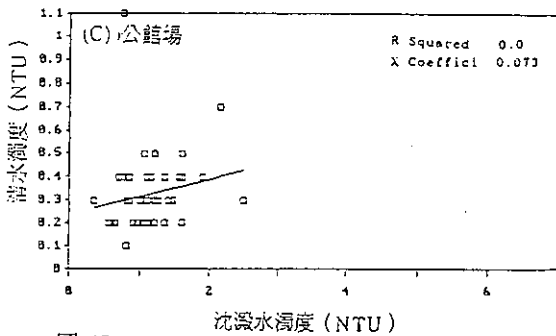
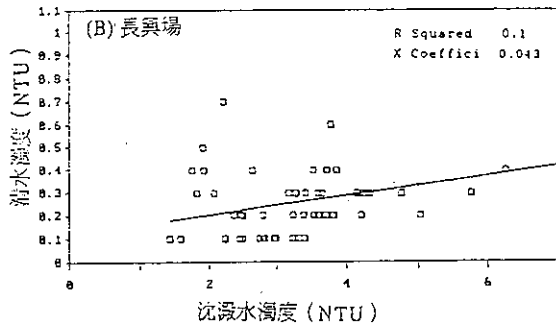
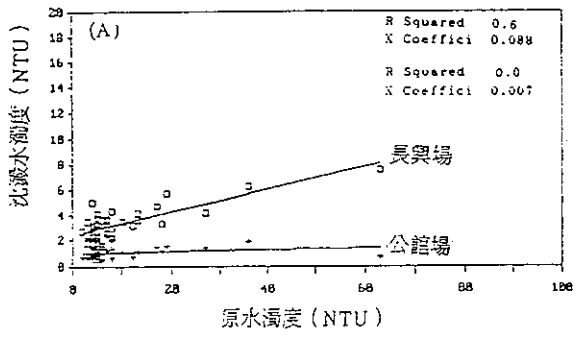


圖 17 分水井加藥期間之淨水效果曲線  
(A)混床沈澱效果(B)長興場過濾效果(C)公館場過濾效果

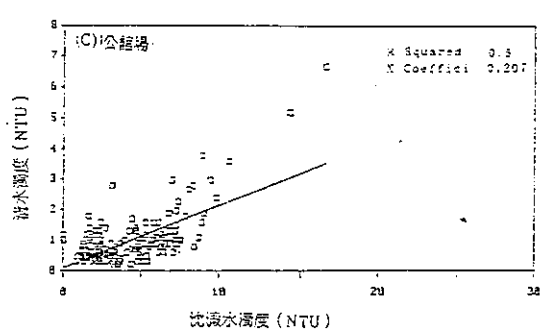
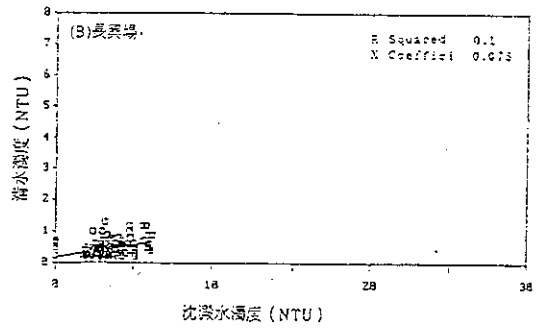
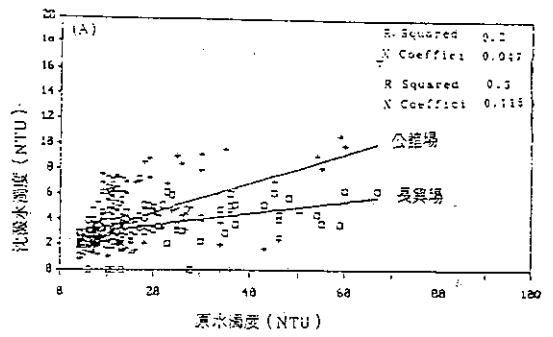


圖 18 非分水井加藥期間之淨水效果曲線  
(A)混床沈澱效果(B)長興場過濾效果(C)公館場過濾效果

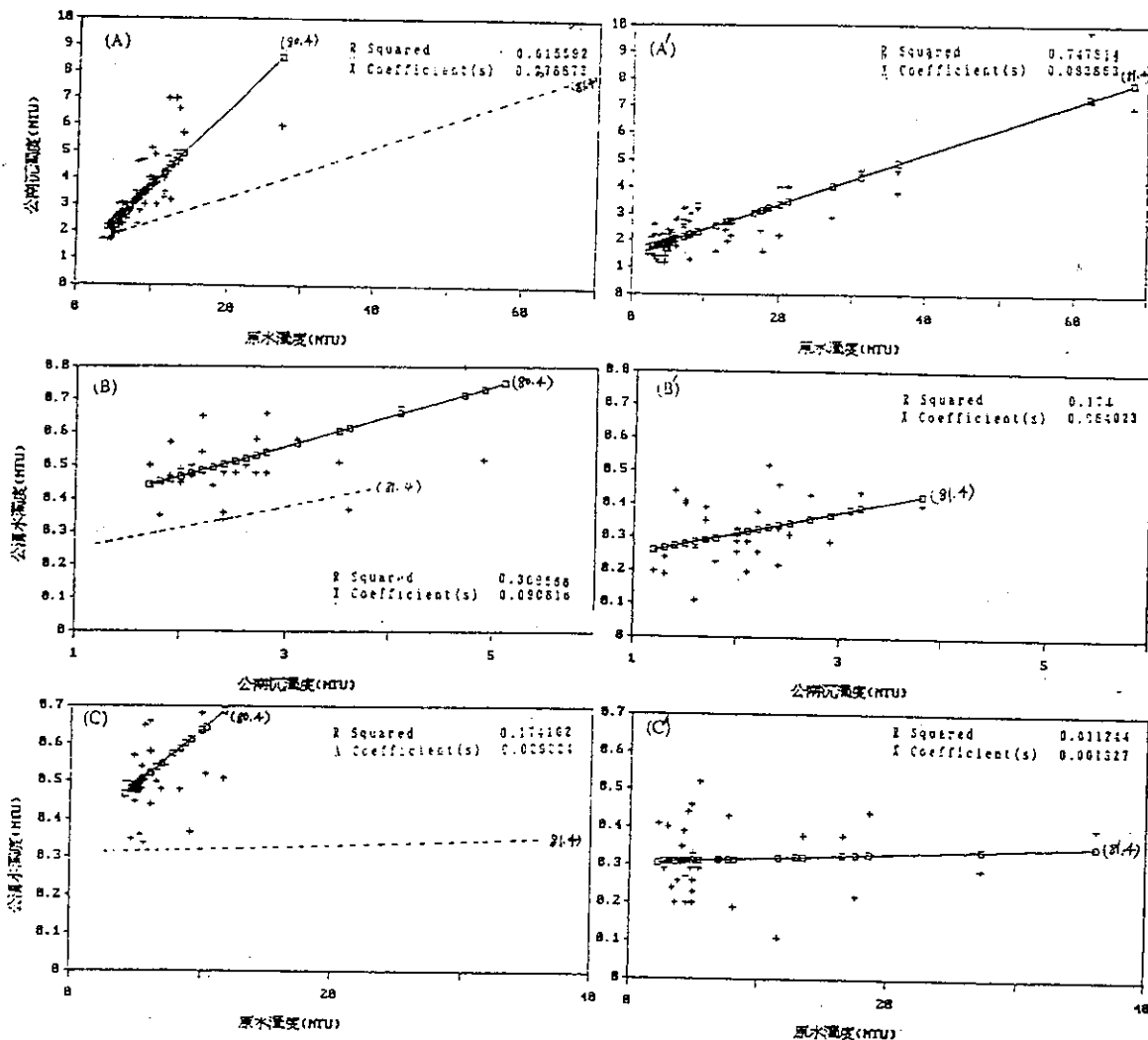


圖 19 公館場分水井加藥期間與去年同時期之淨水效果曲線比較 (A) 混凝沈澱效果 (B) 過濾效果 (C) 總淨水效果  
 註: (A) (B) (C) 80年4月 (分水井加藥前)  
 (A') (B') (C') 81年4月 (分水井加藥後)

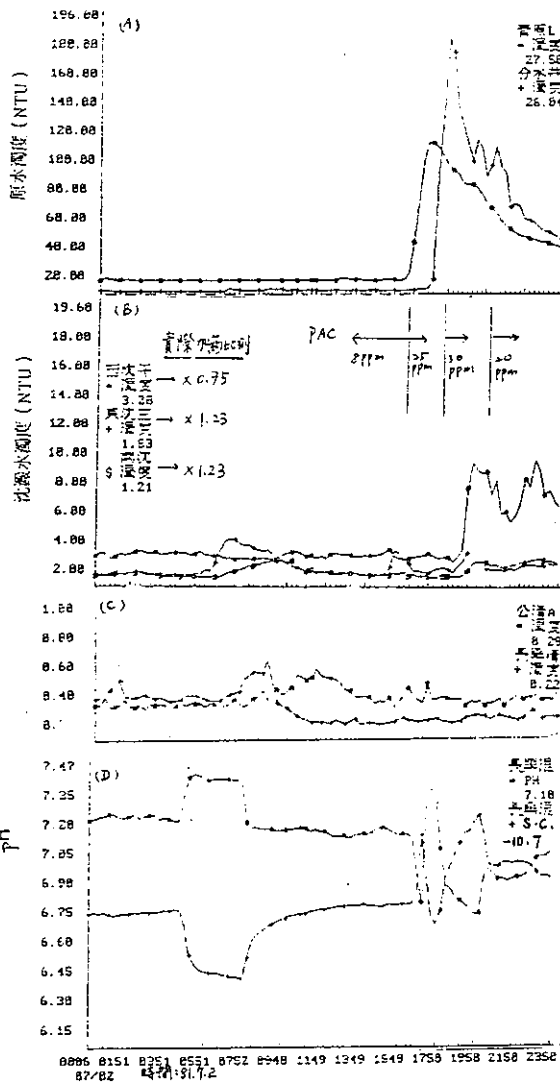


圖 21 分水井加藥期間高濁度案例一

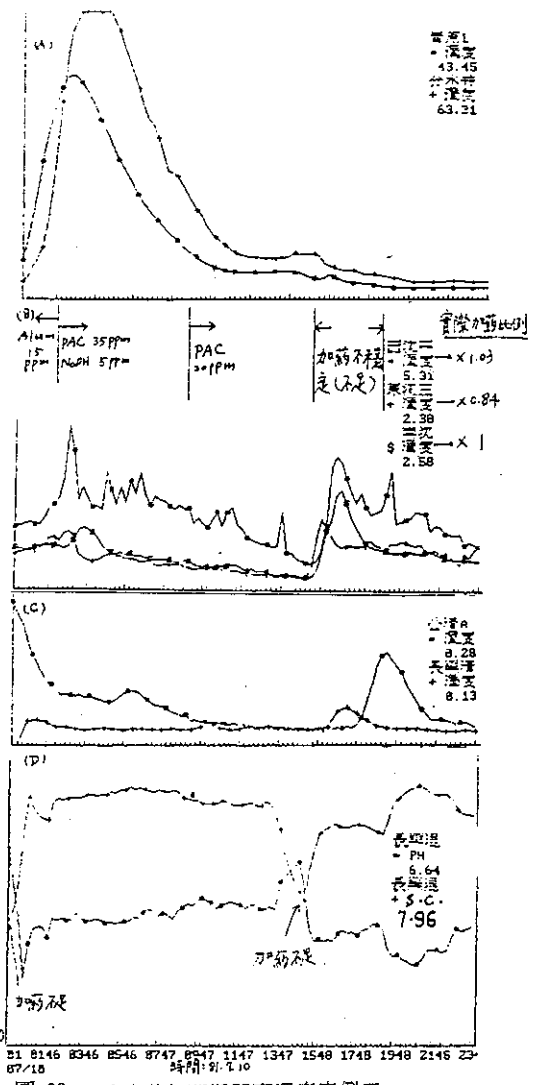


圖 22 分水井加藥期間高濁度案例二

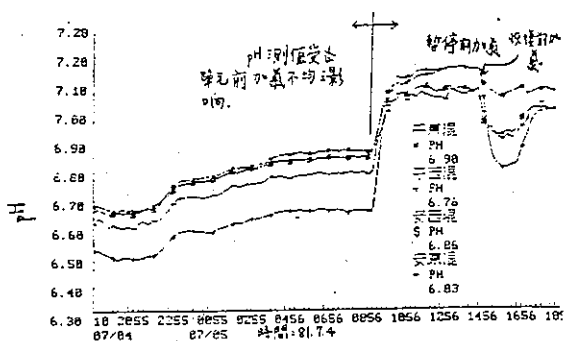


圖 20 分水井加藥均勻性研判圖——註 pH 值

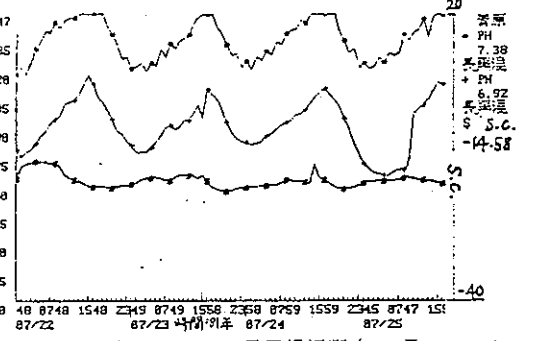


圖 23 青潭原水 pH、長興場混凝水 pH 及 Streaming Current 對照圖



表 2 長興場水平束側單元混凝相關參數對照表

| 項目                          | 流程      | 長分水井         | 導水管          | 蝶閥            | 導水管           | 蝶閥→快混池(原加藥點後) | 快混池           | 凝膠               |       |      | 池    | 合計 |
|-----------------------------|---------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|-------|------|------|----|
|                             |         |              |              |               |               |               |               | NO.1             | NO.2  | NO.3 |      |    |
| 流量(CMS)                     |         | 13.66        | 7.66         | 1.16          | 1.16          | 1.16          | 1.16          | 1.16             | 1.16  | NO.4 |      |    |
| 入口流速 (m/s)                  |         | 1.70         | 1.73         | -             | 1.02          | -             | 1.02          | 0.34             | 0.34  | 1.16 | 1.16 |    |
| 停留時間                        |         | 23"          | 15"          | -             | 3'            | 20"           | 52"           | 6'30"            | 6'30" | 0.34 | 0.34 |    |
| 蝶閥開度                        | 之前      | -            | -            | 90°           | -             | 45°           | -             | -                | -     | -    | -    |    |
|                             | 之後      | -            | -            | 45°           | -             | 90°           | -             | -                | -     | -    | -    |    |
| 水位 (m)                      | 之前      | 15.3         | 15.3 ~ 14.21 |               | 14.21 ~ 13.06 |               | 13.06 ~ 13.02 |                  |       |      |      |    |
|                             | 之後      | 15.3 ~ 14.29 |              | 14.29 ~ 13.06 |               |               | 13.06 ~ 13.02 |                  |       |      |      |    |
| 攪拌機 G 值                     | 原設計     | -            | -            | -             | -             | -             | -             | 90               | 65    | 40   | 20   |    |
|                             | 現況      | -            | -            | -             | -             | -             | -             | 攪拌機於施工時變更設計資料欠缺。 |       |      |      |    |
| 平均速度 $\bar{G}$ ( $S^{-1}$ ) | 分水井加藥   | 634          |              | 226           |               |               | 16(不含機械攪拌)    |                  |       |      |      |    |
|                             | 調整加藥點之前 | -            |              | 410           |               |               | 16(不含機械攪拌)    |                  |       |      |      |    |
| G T                         | 原設計     | -            | -            | -             | -             | -             | 500           | 90               | 65    | 40   | 20   |    |
|                             | 分水井加藥   | 24,092       |              | 56,952        |               |               | 24,960        |                  |       |      |      |    |
| G T                         | 調整加藥點之前 | -            |              | 29,520        |               |               | 24,960        |                  |       |      |      |    |
|                             | 原設計     | -            |              | 26,000        |               |               | 83,850        |                  |       |      |      |    |

表3 長興場水安西側單元混凝相關參數對照表

| 項目                             | 流程          | 長興分水井  |        | 導水管<br>(原加藥點後) | 水進口           | 池閘門 | 迴流池           | 凝膠            |           |           | 池合計       |
|--------------------------------|-------------|--------|--------|----------------|---------------|-----|---------------|---------------|-----------|-----------|-----------|
|                                |             | 管      | 井      |                |               |     |               | NO.1          | NO.2      | NO.3      |           |
| 流量 (CMS)                       |             | 13.66  |        | 2.76           | 1.38          |     | 1.38          | 1.38          | 1.38      |           |           |
| 入口流速 (m/s)                     |             | 1.70   |        | 1.56           | 2.8           |     | 0.42          | 0.4           | 0.4       |           |           |
| 停留時間                           |             | 23"    |        | 1'23"          | 1'5"          |     | 4'            | 5'23"         | 5'23"     |           | 23'23"    |
| 水位                             | (m)         | 15.3   |        | 15.3 ~ 14.2    | 14.22 ~ 13.27 |     | 13.37 ~ 13.04 | 13.04 ~ 13.00 |           |           |           |
| 攪拌                             | 藥板大小及位置 (m) |        |        |                |               |     |               | 4             | 4         | 4         | 4         |
|                                | 長           |        |        |                |               |     |               | 0.2           | 0.2       | 0.2       | 0.2       |
| 機                              | $r_1$       |        |        |                |               |     |               | 0.5 ~ 0.7     | 0.5 ~ 0.7 | 0.5 ~ 0.7 | 0.5 ~ 0.7 |
|                                | $r_2$       |        |        |                |               |     |               | 1.2 ~ 1.4     | 1.2 ~ 1.4 | 1.2 ~ 1.4 | 1.2 ~ 1.4 |
|                                | $r_3$       |        |        |                |               |     |               | 1.9 ~ 2.1     | 1.9 ~ 2.1 | 1.9 ~ 2.1 | 1.9 ~ 2.1 |
|                                | $r_4$       |        |        |                |               |     |               | 2.6 ~ 2.8     | 2.6 ~ 2.8 | 2.6 ~ 2.8 | 2.6 ~ 2.8 |
|                                | $r_5$       |        |        |                |               |     |               | 3.3 ~ 3.5     | 3.3 ~ 3.5 | 3.3 ~ 3.5 | 3.3 ~ 3.5 |
| 藥板數目                           |             |        |        |                |               |     |               | 10            | 10        | 10        | 10        |
| RPM                            |             |        |        |                |               |     |               | 1.7           | 1.4       | 1         | 1         |
| 平均速度<br>梯度 $G$<br>( $S^{-1}$ ) |             | 450    | 327    | 327            | 392           |     | 100           | 22+20*        | 17+20*    | 10+20*    | 10+20*    |
| 調整加藥點之前                        |             |        |        | 327            | 392           |     | 100           | 22+20*        | 17+20*    | 10+20*    | 10+20*    |
| $\bar{G} T$                    |             | 10,350 | 34,662 | 27,141         | 25,480        |     | 14,000        | 13,620        | 11,951    | 9,690     | 129,699   |
| 調整加藥點之前                        |             |        |        | 27,141         | 25,480        |     | 14,000        | 13,620        | 11,951    | 9,690     | 111,828   |

註：\* 表示穿孔流產生的混凝能量

表4 快混延長之模擬實驗相關參數對照表

| 水 樣 別                          | 混 凝 時 間 ( 分 鐘 )                                     |   | 靜 置 後 上 澄 液 濁 度<br>( NTU ) |           |           | 加 礬 量<br>8%A <sub>2</sub> O <sub>3</sub><br>(ppm)   | 鹼 度<br>(ppm) | pH  | DS<br>(ppm) |
|--------------------------------|---|---|----------------------------|-----------|-----------|---|--------------|-----|-------------|
|                                | ** $\bar{G}=120-150S^{-1}$<br>***rpm=150            | $\bar{G}=70 \sim 10S^{-1}$<br>rpm=90 ~ 20 | 0<br>(分)                   | 15<br>(分) | 30<br>(分) |   |              |     |             |
| 原 水                            | —   | —   | 20                         | 16        | 14        | —   | 20           | 7.2 | 38          |
| * 杯 瓶 模 擬                      | 3   | 15  | 15                         | 13        | 9.7       | 15  | 17           | 6.8 | 40          |
| 水 安 西 側 現 場 混 凝 水              | 3<br>( 現 場 )  | 15<br>( 現 場 )                             | 12                         | 7.8       | 4.6       | 20  | 16           | 6.8 | 40          |
| * 杯 瓶 模 擬<br>快 混 延 長<br>30 分 鐘 | 33  | 15  | 10                         | 1.3       | 0.8       | 15  | 17           | 6.8 | 40          |
| * 杯 瓶 模 擬<br>快 混 延 長<br>80 分 鐘 | 83  | 15  | 9                          | 1.2       | 0.8       | 15  | 17           | 6.8 | 40          |
| 備 註                            | 資料日期：81年2月17日 16:45 ~ 19:30<br>地 點：長興淨水場<br>水 溫：16℃ |   |                            |           |           | * 1吋圓形杯，未加檔板<br>** 模擬原水導管之水流狀況(停留時間<br>80分水頭損失7米) $\bar{G}=123S^{-1}$<br>*** 圓形杯未加檔板其rpm與 $\bar{G}$ 值之相關<br>性係假設值 |              |     |             |

表5 杯瓶試驗與實場混凝狀況之比較—在相同混凝能量下

| 項 目     | RPM                              | 槳板平均半徑 ( m ) | 槳板平均半徑 (m / s)   |
|---------|----------------------------------|--------------|--|
| 實 場     | 1.5                              | 1            | 0.156  |
| 杯 瓶 模 擬 | 12                               | 0.019        | 0.024  |
| 說 明     | 以轉數言相當於實場每獲得一次的攪拌能量，杯瓶模擬時劃分八次獲得。 |              | 實場之槳板速度為杯瓶試驗之六倍。因此靠近槳板附近之G值遠大於平均的 $\bar{G}$ 值。杯瓶模擬的情況，G值則較為平均。 |

註：以公館場南側No.3膠凝池之 $\bar{G}$ 值=5為例

表6 杯瓶試驗 (高混凝能量與低混凝能量下) 上澄液殘留鋁對照表

| 杯瓶試驗圖號 | 原水水質 |    | 加藥量 (ppm) |     | 殘留鋁 (ppm) |       | 備註   |
|--------|------|----|-----------|-----|-----------|-------|--|
|        | 濁度   | 鹼度 | ALUM      | PAC | 高混凝能量     | 低混凝能量 |  |
| 4.7    | 2.6  | 26 | ALUM 5    |     | 0.106     | 0.147 | 1.ALUM ( 8% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )<br>2.PAC ( 10% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )<br>3 混凝能量係指模凝公館場在長易分水井加藥之混凝能量。<br>4. 低混凝能量係指模凝公館場原加藥點加藥之混凝能量。 |
|        |      |    | ALUM 10   |     | 0.076     | 0.087 |  |
| 4.10   | 9.5  | 21 | PAC 10    |     | -         | 0.179 |  |
|        |      |    | ALUM 10   |     | 0.145     | 0.238 |  |
|        |      |    | ALUM 15   |     | 0.121     | 0.322 |  |
| 4.11   | 13.8 | 21 | PAC 10    |     | 0.167     | 0.192 |  |
|        |      |    | ALUM 10   |     | 0.157     | 0.247 |  |
|        |      |    | ALUM 15   |     | 0.175     | 0.403 |  |

表7 各淨水單元分水井加藥期間實際加藥量及加藥偏差對照表

| 項目     | 處理水量 (萬噸/日) | 初期加藥點    |               |        | 第一次改善    |                |        | 第二次改善    |                |          |
|--------|-------------|----------|---------------|--------|----------|----------------|--------|----------|----------------|----------|
|        |             | 總鋁 (ppm) | 相當添加 PAC(ppm) | 加藥量 偏差 | 總鋁 (ppm) | 相當添加 ALUM(ppm) | 加藥量 偏差 | 總鋁 (ppm) | 相當添加 ALUM(ppm) | 加藥量 偏差   |
| 原水     | -           | 0.041    | -             | -      | 0.072    | -              | -      | 0.176    | -              | -        |
| 安東 (一) | 12          | 0.189    | 2.77          | +29%   | 0.580    | 12.0           | +22%   | -        | -              | -        |
| 安東 (二) | 12          |          |               |        | 0.606    | 12.5           | +27%   | 0.617    | 10.41          | * -15.6% |
| 安西 (一) | 10          | 0.139    | 1.84          | -14%   | 0.430    | 8.4            | -13%   | -        | -              | -        |
| 安西 (二) | 10          |          |               |        | 0.431    | 8.5            | -13%   | -        | -              | -        |
| 平東     | 10          | 0.123    | 1.52          | -33%   | 0.375    | 7.2            | -26%   | 0.780    | 14.26          | * +15.6% |
| 平西     | 6           | 0.139    | 1.84          | -14%   | 0.377    | 7.3            | -26%   | 0.720    | 12.85          | + 4.2%   |
| 公南     | 22          | -        | -             | -      | 0.387    | 7.4            | -25%   | -        | -              | -        |
| 公北     | 22          | -        | -             | -      | 0.457    | 9.1            | -7%    | -        | -              | -        |
| 中間值    | -           | 0.156    | 2.15          | -      | 0.489    | 9.8            | -      | 0.698    | 12.33          | -        |

\* 總鋁檢驗誤差待求證

1. 加藥量偏差 % = (各別單元 - 中間值) ÷ 中間值 × 100%
2. 初期加藥點在分水井水面上分三點加入。
3. 第一次改善以透明蛇形塑膠軟管進入水中約1米深。
4. 第二次改善以 S316 鋼管固定在進口之水流中心約在水面下 1.7 米深。