

廢(污)水處理類

## 活性污泥污水處理廠圓型二沉池迴流污泥管不同長度造成影響的探討

劉雅文\*、蕭宇展\*\*、蔣守銘\*\*\*、王進崇\*\*\*\*、陳伯珍\*\*\*\*\*

### 摘 要

某活性污泥污水處理廠之 4 座二沉池因與其迴流污泥井間之距離各不相同，故其污泥出流管之管長皆不一致，且其出流管上亦無設置準確的流量控制設施，依據管線摩擦水頭損失之水理理論，在每座二沉池與迴流污泥井之水位差皆相同時，污泥出流管的污泥流出量與管長成反比。因出流管深埋於地面下，且其兩端開口分別浸沒在水中，故無法以儀器量測出其污泥流出量及水質，因此本文以水理方式計算在各種水位差的情況下各污泥出流管之流量，並繪製二沉池與迴流污泥井間的水位差與污泥排出量之關係圖。文中並提出使 4 座二沉池的污泥出流量相同的可行性方案，並對於如未來因二沉池污泥排出量不足，而使其出流水水質變差的情況，提出改善之建議。

【關鍵字】二沉池、處理廠功能分析技術(PAT)、達西公式(Darcy-Weisbach equation)、污泥毯、史坦福擋板、提流斯克閥

\* 綠逸環境工程技師事務所

\*\* 東禾工程顧問有限公司

\*\*\* 銘泰環境顧問有限公司

\*\*\*\* 王進崇環境工程技師事務所

\*\*\*\*\* 淡江大學水環系

環工技師(博特水業有限公司特約)

經理(博特水業有限公司特約)

環工技師(博特水業有限公司特約)

環工技師(博特水業有限公司特約)

兼任副教授(退休)

## 一、前言

污水處理廠實際的情況、容量及操作狀態可用一些評估及最佳化技術來分析，這些技術統稱為處理廠分析技術 (Plant Analysis Technologies, PAT)，在很多情況下，採用 PAT 所得到的建議，經由更有效的程序及操控最適化，可帶來可觀的能源節約，以及延緩或減少擴廠需要 (陳伯珍等,1996)。

PAT 技術可分成 3 種層級，每一種層級皆比前一種層級提供更好及更詳盡的資訊，該 3 種層級為：

### (一) 桌上資料分析 (Desk-Top Analysis)

利用操作數據設計準則及依據處理單元之能力，分析各處理單元之容量及可靠度。

### (二) 處理廠訪查 (Onsite Visits)

經由操作人員之意見及觀測實際之操作情況，指出處理廠之限制因素，從而找出改善之道。

### (三) 現場試驗 (Field Test)

藉著各種試驗技術，以協助尋求改善全廠操作、降低操作費及發揮現有設施處理能力之方式。

本文即係採用前述「桌上資料分析」及「處理廠訪查」2 種步驟，藉由蒐集及量測某活性污泥污水處理廠 4 座二沉池與迴流污泥井之設計水位、污泥管連接方式、管長及管徑，再以經前人經驗累積所得出的管線摩擦水頭損失之水理公式，計算各池污泥排出量不同的情況，接著再評估污泥排出量不同對二沉池出流水水質可能造成的問題，最後提出解決此問題的 2 個方案。

## 二、評估過程與方法

### 2.1 評估單元背景說明

某污水處理廠有 2 系列的曝氣池，各自以 2 條等管徑及等長的連絡管線將其出流水連接至 2 座二沉池，在此分別以 (NO.1~NO.2) 及 (NO.3~NO.4) 命名之。該 4 座圓形二沉池的污泥排出管（以下簡稱為污泥出流管或污泥管）係各以 1 條等管徑的出流管連接到 1 座迴流污泥抽送站的共同污泥井。在每條出流管進入污泥井的過牆管出口處，各設有 1 個制水閘門，作為污泥管全開或全關之用，如圖 1 所示。由於 4 座二沉池與迴流污泥濕井的距離並不相同，導致其污泥出流管的長度也不同，如圖 2 所示，圖上之  $L_1 \sim L_4$  分別是二沉池 NO.1~NO.4 的池心距污泥井牆壁間的管長。由於二沉池池心距污泥斗邊緣，亦即污泥管起始端，的距離為 1.6 公尺，故實際污泥出流管的管長係為二沉池池心距污泥井牆壁間的總長中扣除 1.6 公尺（見圖 3），各條出流管的長度如表 1 所示。

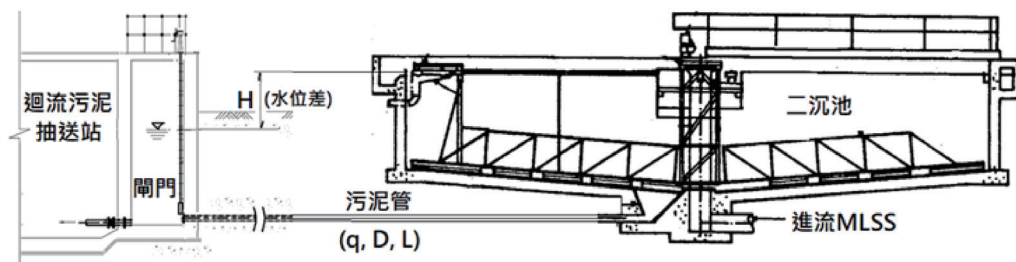


圖 1 圓形二沉池污泥管直接連通至迴流污泥濕井

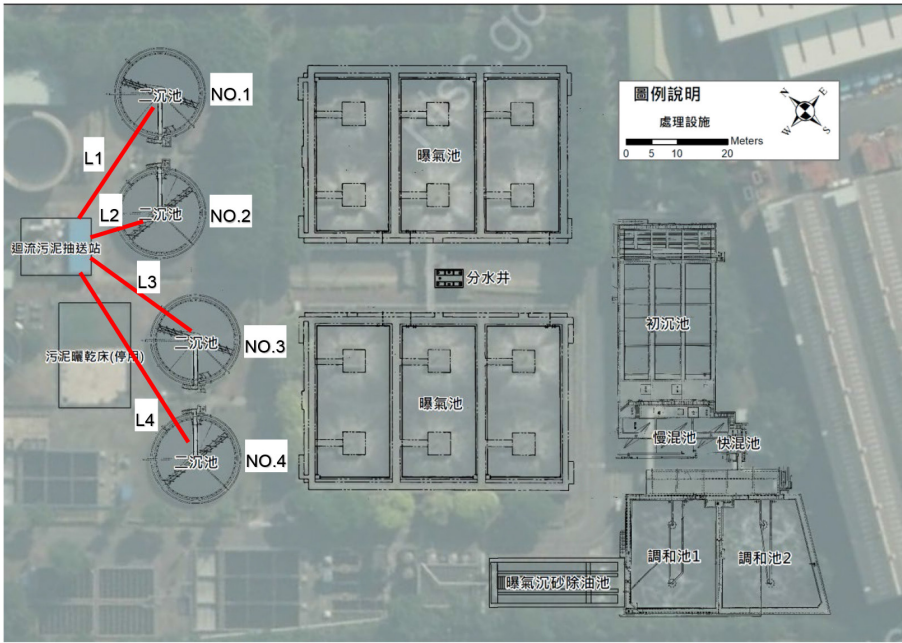


圖 2 污水廠二沉池及迴流污泥濕井平面配置圖

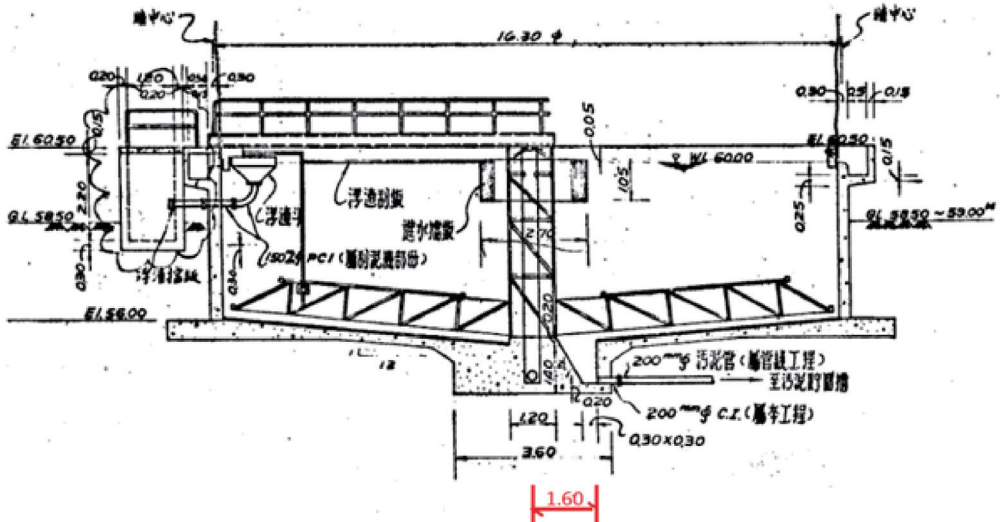


圖 3 二沉池池心距污泥斗邊緣的距離

表 1 各二沉池與迴流污泥井間聯絡管之長度

二沉池	二沉池池心距污泥井牆壁距離 (公尺)	污泥管實際長度 (公尺)*
NO.1	30	28.4
NO.2	14.5	12.9
NO.3	28.5	26.9
NO.4	43	41.4

\* 污泥管實際的管長須自二沉池池心距污泥井牆壁間的總長中扣除半個污泥斗的淨寬 1.6 公尺。

## 2.2 二沉池負荷檢核

首先檢核二沉池之表面溢流率及固體負荷率，計算如下：

進流污水：21,000 CMD

二沉池使用池數：4 池

平均單一二沉池之進流污水量 Q：5,250 CMD

假設迴流污泥百分比：40%

迴流污泥量 q：2,100 CMD

平均單一二沉池之總進流量 QT：7,350 CMD

進流 SS 濃度：北曝氣池 2,490 mg/L，南曝氣池 2,650 mg/L 平均值為 2,570 mg/L

二沉池直徑 D：16 m

二沉池面積 A：201 m<sup>2</sup>

表面溢流率 =  $Q/A = 5,250/201 = 26.12 \text{ CMD/m}^2$  (範圍：16-28 CMD/m<sup>2</sup>) ---> OK

固體負荷率 =  $QT \cdot SS/24/A = 3.92 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$  (範圍：4-6 kg/m<sup>2</sup>/hr) ---> 偏低

### 2.3 二沉池背景資料分析

如果曝氣池進流分水井及曝氣池出流渠道的分水良好的話，則自曝氣池出流渠道流至 4 座二沉池的水量及水質應該是一致的，而我們亦期盼自 4 座二沉池出水溢流堰流出的澄清液（即二沉池出流水）與自二沉池底部流出的污泥，在水量及水質方面應該都相同。但某廠曝氣池的進流分水井經由 109 年 5 月 3 日西區曝氣池分水井分水效果的測試，已證實該分水井有水量及水質分配不均的情況，因此判斷兩系列曝氣池的出水量會不同，導致 NO.1 及 NO.2 二沉池之進流量會與 NO.3 及 NO.4 二沉池之進流量不同。但因 NO.1 及 NO.2 二沉池之進流水係源自同一曝氣池的出水渠道，且其聯絡管之管徑及管長皆相同，故可假設 2 座二沉池的進水量及水質相同；同樣的，NO.3 及 NO.4 亦可假設其進水量及水質相同。幸運的是，該進水量及水質可以在曝氣池出流渠道處量測。

4 座二沉池的污泥排出管係各以出流管連接至迴流污泥井，因各座二沉池與迴流污泥井間的距離各不相同，所以 4 條二沉池污泥出流管的管長也有差異。與二沉池進流管同樣的，二沉池污泥排出管深埋在地下，且未設置流量計，所以無法自管線實測各池污泥出流管的流量。而該污泥出流管的進流口位在二沉池底部的污泥斗（見圖 4），其上方為走橋、驅動機及消能注水井，水量及水質量測儀器無法接近；而污泥管的出流口則位在迴流污泥井的井底，其上方為 RC 頂版（見圖 5），未設任何開孔，量測儀器亦無法接近，導致 2 處皆無法實測出流污泥的流量及水質。



圖 4 污泥管的進流口位在刮泥機驅動平台底部的水中，無法使用量測儀器



圖 5 污泥管出流口位在迴流污泥井的閘門底下，其上方的 RC 頂版未設任何開孔

## 2.4 二沉池污泥排出管流量檢核的緣由

在二沉池污泥排出管的兩端都沉沒在水中的情況下，其污泥出流管的流量可以達西公式的短管情況來計算，污泥出流管的流量與該二沉池與迴流污泥井間的水位差成正比，水位差較大時，污泥量較大；水位差較小時，污泥量較小。理論上，4 座二沉池的水位應大致相同，而迴流污泥井又有共同的水位，如二沉池與迴流污泥井的出流管等長，則 4 座二沉池在同樣水位差及相同管長的情況下，其污泥排出量應相同。但因該水位差須扣除管線的水頭損失（包括摩擦損失及次要損失），而污泥在管內的摩擦損失會與管長成正比，長管的摩擦損失大，短管的摩擦損失小，摩擦損失大時，自二沉池底部流出的污泥量會較小，而摩擦損失小時，自二沉池底部流出的污泥量會較大。前已說明，污泥出流管因水量及水質量測儀器無法接近，因此無法實測出流污泥的流量及水質，故本文僅能以水理計算來說明 4 座二沉池污泥出流管線因長度不同而對其排泥量所造成的影響。

## 2.5 水理計算

二沉池與迴流污泥井間的污泥出流管長度與污泥排出量關係之水理計算如下：

### (一) 計算條件

進流污水 = 21,000 CMD

二沉池使用池數 = 4 池

平均單一二沉池之進流污水量  $Q = 5,250$  CMD

假設迴流污泥百分比 = 40%

迴流污泥量  $q = 2,100$  CMD

平均單一二沉池之總進流量  $QT = 7,350$  CMD

二沉池直徑 = 16 m

二沉池水位 = 60.0 m

污泥管直徑  $D = 0.2$  m

污泥管水力半徑  $R = 0.05$  m

重力加速度  $g = 9.81$  m/sec<sup>2</sup>



$$\text{污泥管面積 } A = 0.031 \text{ m}^2$$

$$\text{污泥管流速 } V = 0.774 \text{ m/sec}$$

(二) 水理公式

1. 連續公式

$$Q = AV$$

式中  $Q$  = 流量( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = 面積( $\text{m}^2$ )

$V$  = 平均流速( $\text{m/s}$ )

2. 達西流速公式

$$V = \sqrt{\frac{8g}{f} RS}$$

式中  $V$  = 流速( $\text{m/s}$ )

$g$  = 重力加速度( $\text{m/s}^2$ )

$f$  = Darcy-Weisbach 摩擦因素(無單位)

$R$  = 水力半徑( $\text{m}$ )

$S$  = 坡度( $\text{m/m}$ )

3. 達西摩擦水頭損失公式 (Darcy-Weisbach equation)

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

式中  $V$  = 流速( $\text{m/s}$ )

$g$  = 重力加速度( $\text{m/s}^2$ )

$f$  = Darcy-Weisbach 摩擦因素(無單位)

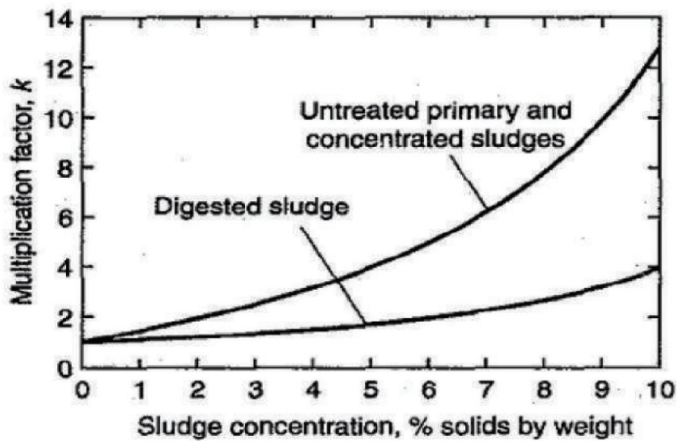
$L$  = 管長( $\text{m}$ )

$D$  = 管徑( $\text{m}$ )

\* 鑄鐵管摩擦係數 (舊管)  $f = 1.5 \times [0.02 + 1/(2,000 \times D)] = 0.03375$

## (三) 各種假設水位差距

本文按照二沉池與迴流污泥井的水位差，以 0.05 m 作為差距，計算在各水位差情況下，各二沉池污泥管計算所得之污泥流量。其中假設迴流污泥的濃度最高達 8,000 mg/L (某廠一般為 5,100 mg/L)，亦即是 0.8%，依照圖 6 污泥摩擦水頭損失加乘係數，其加乘係數為 1.0，亦即與一般污水一樣，不須較大的加乘倍數。



Source: Metcalf & Eddy

圖 6 污泥摩擦水頭損失加乘係數

## (四) 計算結果

依據前述計算條件及水力公式，本文按照各種假設水位差距，進行二沉池與迴流污泥井間的污泥出流管長度與污泥排出量關係的水理計算，並將設計結果整理如圖 7。由圖中可看出，當二沉池與迴流污泥井間的水位差為 0.50 m 時，二沉池 NO.1 的污泥出流管的出流量為 2,553 CMD、NO.2 的出流量為 3,514 CMD、NO.3 的出流量為 2,614 CMD、NO.4 的出流量為 2,161 CMD，亦即 NO.2 的出流量為 NO.4 出流量的 1.5 倍以上。

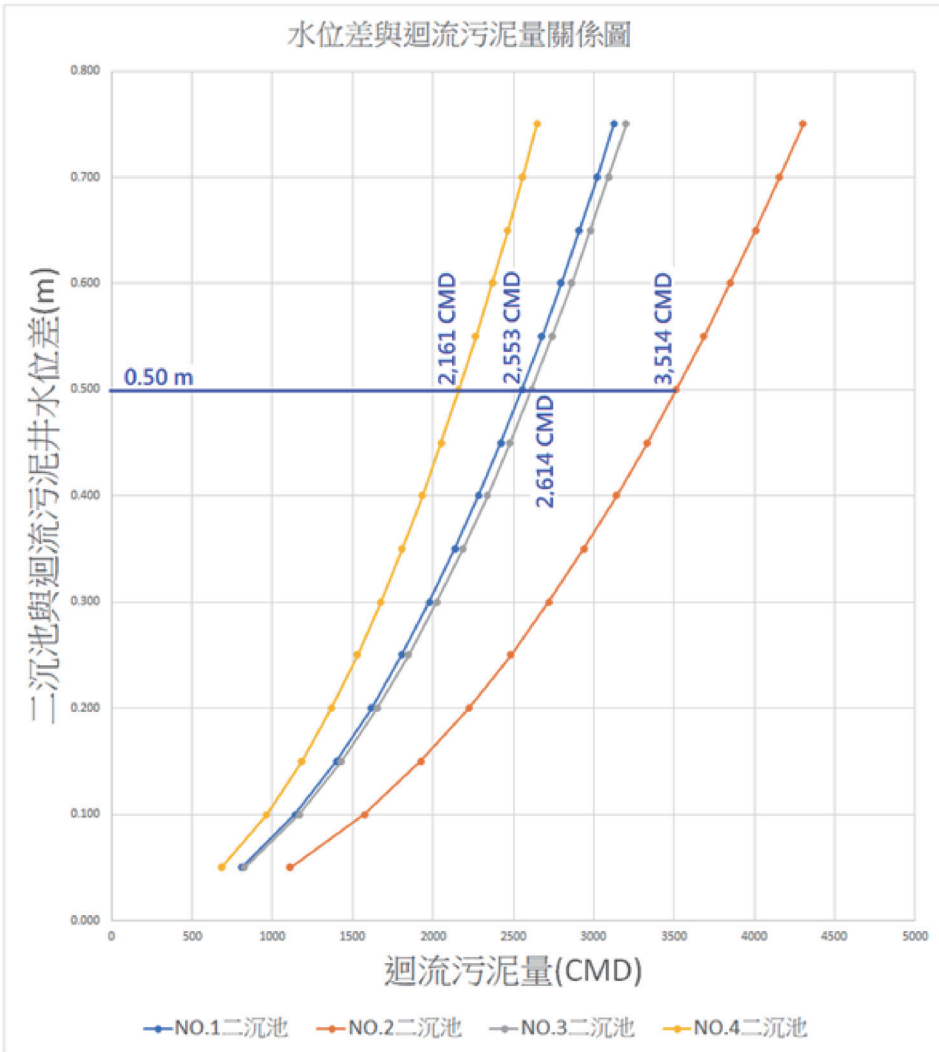


圖 7 二沉池與迴流污泥井間的水位差與污泥排出量的關係

### 2.6 計算結果分析

某廠 4 座二沉池欲達到相同的迴流污泥量 (2,100 CMD) 時，NO.1 二沉池與迴流污泥井間的水位差應維持 0.34 m，NO.3 二沉池為 0.33 m，污泥管線最短的 NO.2 二沉池為 0.18 m，污泥管線最長的 NO.4 二沉池為 0.47 m (見圖 8)。

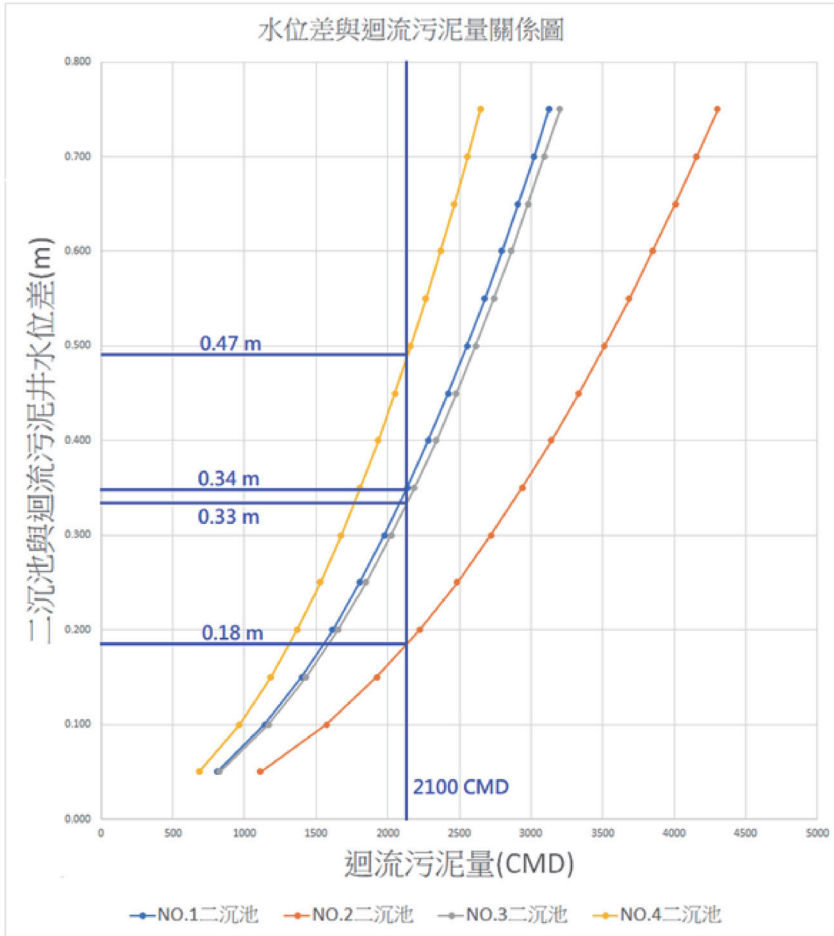


圖 8 迴流污泥量為 40%(2,100 CMD) 時各二沉池與迴流污泥井間的水位差

4 座二沉池雖可達到同樣 40% 迴流污泥量的結果，但 NO.4 二沉池的污泥毯勢必高於其他的二沉池。表 2 為廠方近期對於各個二沉池污泥毯厚度的實測值；廠方對於二沉池污泥出流管出口端的制水閘門開度有作控制，所以該實測值並不能反應實際的滿管流量。由表 2 可發現 NO.4 二沉池的污泥毯厚度幾乎永遠高於 NO.2 二沉池，推論即使該 2 座二沉池進流的混合液流量相同，但因 NO.4 二沉池的污泥管較長，所以水頭損失較大，以致流出去的污泥量減少，使得停留在池內的污泥量變多，從而使污泥毯的厚度會比 NO.2 二沉池來得大。

表 2 二沉池固定點污泥毯厚度實測值 (公分)

日期	二沉池 NO.1	二沉池 NO.2	二沉池 NO.3	二沉池 NO.4
109.06.01	0	20	40	20
109.06.02	20	20	30	30
109.06.03	20	20	20	20
109.06.04	0	20	30	30
109.06.05	0	20	20	40
109.06.06	0	20	20	40
109.06.07	0	20	20	30
109.06.08	20	20	30	40
109.06.09	0	20	20	30
109.06.10	20	30	40	30

一般活性污泥處理廠的二沉池污泥毯最適宜的厚度為 30 cm 至 60 cm，因進流混合液的密度比池中澄清液的密度還要高，故混合液從注水孔口流至沉澱區後，會有形成瀑布的效應。該股密度流會沿著污泥毯表面徑向往外流動，碰到池牆後會往上，而將沖刷出來的污泥經由出水渠道帶出沉澱池，詳見圖 9 二沉池水流及污泥流流況。故如二沉池 NO.3 及 NO.4 的污泥毯厚度較高時，雖然迴流污泥泵可抽到適當濃度的污泥，但密度流沖刷出來的污泥被帶出沉澱池的情況（即出水 SS）也會較高；但二沉池 NO.1 及 NO.2 的污泥毯厚度大部分時間都在 30 cm 以下（尤其是 NO.1 二沉池，有時其污泥毯厚度為 0），容易使迴流污泥泵抽不到污泥；相反的，恐怕會抽到大量的澄清液，以致會稀釋迴流污泥，造成迴流污泥泵的能源浪費。

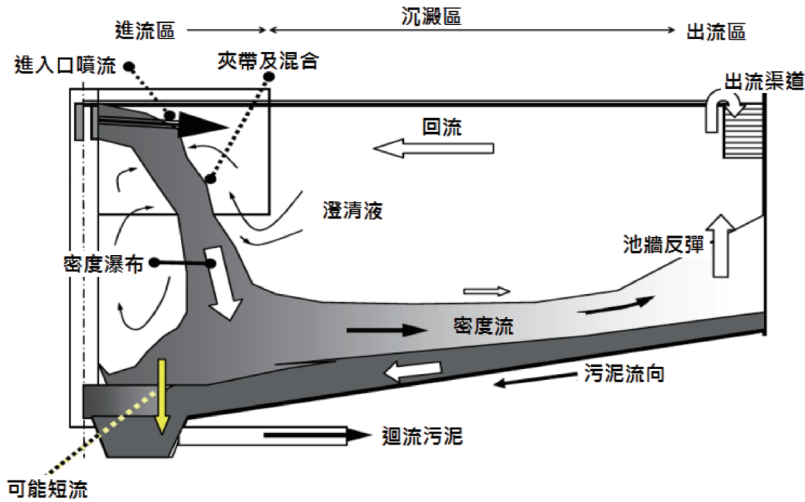


圖 9 二沉池水流及污泥流流況

如果二沉池前端單元 (包括曝氣池分水井及兩列曝氣池) 的分水效果改善, 則流入二沉池的混合液流量將相同, 此雖可大幅減少操作工作, 但由於前述的二沉池與迴流污泥井間因為污泥管長度不同而導致的污泥流量不同, 將會使操作情況面臨兩難的抉擇: 其一是使 NO.2 二沉池保持合適的污泥毯厚度, 但此時 NO.4 二沉池的污泥毯厚度即會超標, 恐怕容易會發生密度流被出流水挾帶出去的情況; 其二是使 NO.4 二沉池保持合適的污泥毯厚度, 但此時 NO.2 二沉池的污泥毯厚度即會降到零, 使迴流污泥泵抽不到污泥。

至於二沉池出流水是否會因污泥毯厚度不同而發生 SS 不同的情況, 在 109 年 6 月對 NO.3 二沉池所做的沉澱池水流形態分析結果 (見圖 10) 來看, 可看出 SS 濃度為 200 mg/L 及以上的污泥流沿池底污泥毯上方由池心往池牆方向流動, 碰到池牆後這股密度流即往上方流動, 接著消散至整個沉澱區。由於現階段進流的 MLSS 較稀薄 (此可由 2.2 二沉池負荷檢核所得到的固體負荷偏低得到印證), 污泥毯厚度亦較低, 所以挾帶至出流渠道的污泥量較少, 導致於二沉池出流水並未因污泥毯厚度不同而發生 SS 不同的情況; 反之, 如進流的 MLSS 較濃稠, 污泥毯厚度亦較高, 則挾帶至出流渠道的污泥量會變多, 則可能使 NO.3 及 NO.4 二沉池因污泥毯厚度不同而使其出流水的

SS 濃度會有不同的情況 (蕭宇展等, 2020)。

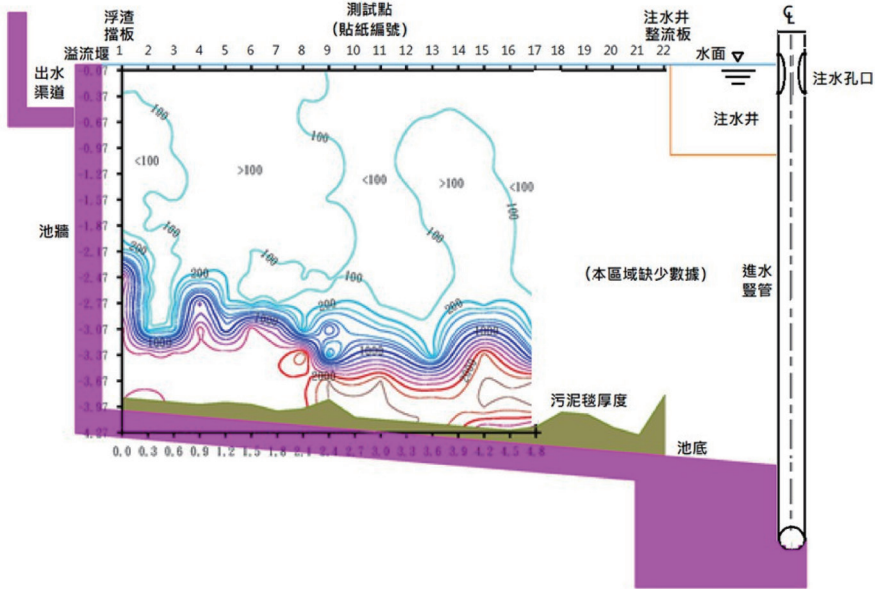


圖 10 二沉池水中懸浮固體等濃度分布圖

### 2.7 二沉池不同排泥管管長之改善方法

污水廠的二沉池因為排泥管管長不同，可能導致各池的排泥量不一致，這問題的 2 種改善方案說明如下：

#### 1. 提流斯克閥 (Telescopic valve)

一般二沉池在其出流管進入污泥井過牆管的出口處，都會設有一個提流斯克閥 (見圖 11)，藉著調升或調降提流斯克閥的頂部高程，即可改變其與二沉池水面間的水位差，從而不管各出流管的長度有多大的不同，都能控制其迴流污泥量；亦即，當出流管較長時，調降提流斯克閥的頂部高程，使其與二沉池水面間的水位差變大，則可增加其流量；而當出流管較短時，調升提流斯克閥的頂部高程，使其與二沉池水面間的水位差變小，則可減少其流量。而將 4 座二沉池在污泥井中的提流斯克閥的頂部出水端調整為相同高度，即可確保各池出流污泥量的相同。

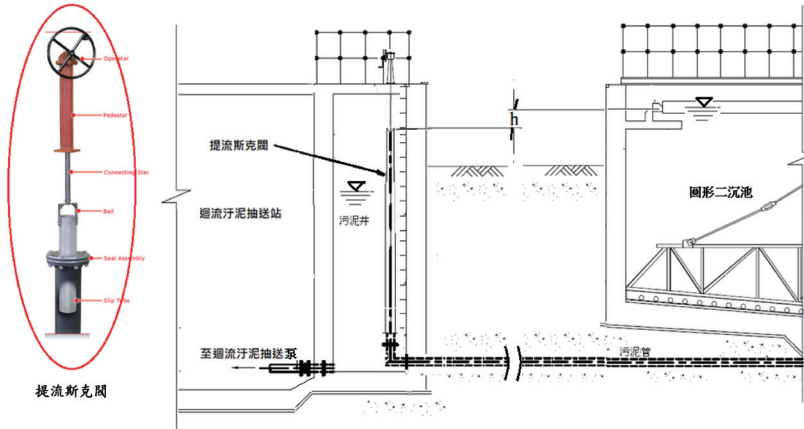


圖 11 污泥井內增設提流斯克閥

迴流污泥井內加裝提流斯克閥的好處如下：

- (1) 可在提留斯克閥出水管處隨機採取污泥水樣，以有別於污泥井之綜合水樣。
- (2) 可人工方式估計污泥即時時間的流量，以便與自動流量計之量測值做比較。
- (3) 藉由改變提流斯克閥與沉澱池水面之高差，可控制及調整污泥量，以便取得最高濃度之污泥。

上述 3 項好處是某廠只設出流管的迴流污泥井所無法得到的；惟本廠既有迴流污泥井要加裝提流斯克閥恐會有一定的困難度，除了要暫停污泥的流入且排空及洗淨濕井外，還須拆除其制水閘門，而將 DIP 鑄鐵管進入濕井的末端連接到不鏽鋼製提流斯克閥亦會有些困難，不過這些問題都可克服。在提流斯克閥裝設完成並要操作時，其所需水頭除上述計算所得的水頭外，亦須將提流斯克閥及管線之額外摩擦水頭損失及次要水頭損失計算在內。

## 2. 二沉池污泥管直接連接至迴流污泥泵

欲等量排出 4 座二沉池的污泥，另一改善方案可將二沉池污泥管直接連接至迴流污泥泵，該泵應為變速的不阻塞型污水泵，其連接方式如圖 12 所示。



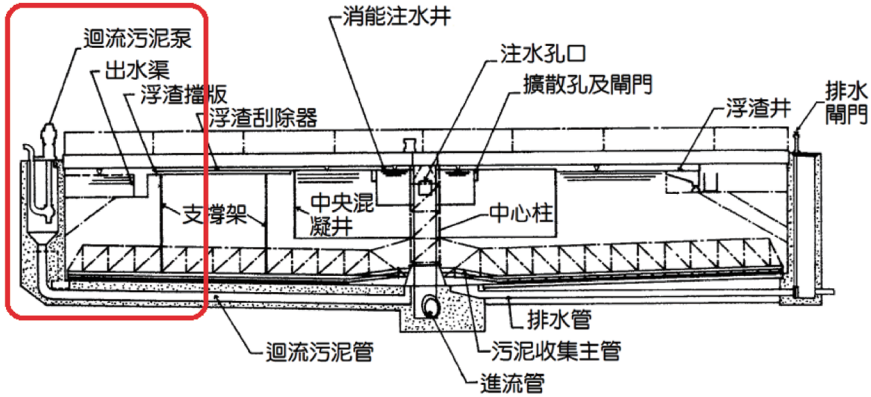


圖 12 二沉池污泥管直接連接至迴流污泥泵

## 2.8 二沉池出水水質之改善

某廠的圓形二沉池係使用較老舊的外掛式出水渠方式，污泥毯厚度較高時，被出流水挾帶出去的污泥量會較多，嚴重時，出水 SS 會不符合放流水標準。其改善之道，可以在二沉池池牆內設置擋板，以將密度流轉向池心的有效方式來改善出水的 SS。常用的周邊擋板配置方式有許多種，本二沉池的出水渠道因係採用外掛式，較合適的擋板為史坦福擋板 (Stamford baffle)，如圖 13，活性污泥沉澱池的密度流見圖 14，左圖為無擋板，右圖為加設擋板。

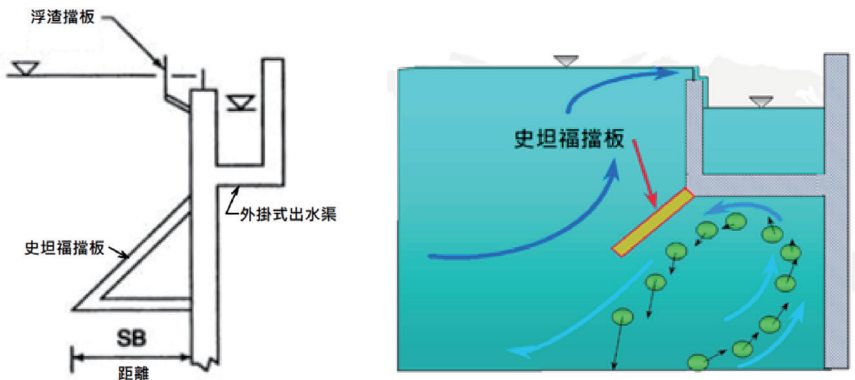


圖 13 史坦福擋板

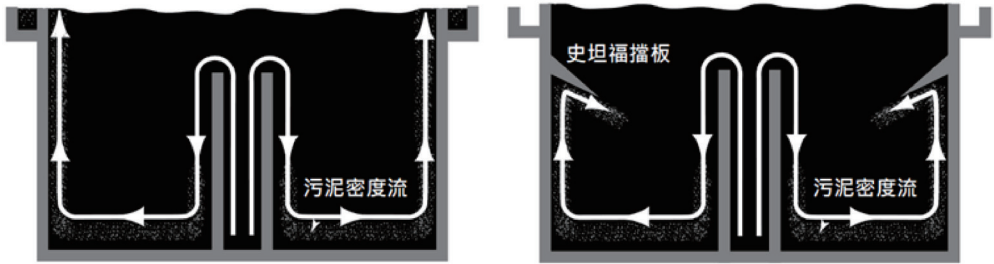


圖 14 活性污泥沉澱池的密度流 (左圖) 無擋板 (右圖) 加設擋板

### 三、結論與建議

1. 某廠之 4 座二沉池與其迴流污泥井間之距離各不相同，故其污泥出流管之管長皆不一致，導致各池的污泥流出量不同，使得其污泥毯厚度會不一樣，增加操作的困難。欲達到相同的迴流污泥量 (2,100 CMD) 時，NO.1 二沉池與迴流污泥井間的水位差應維持 0.34 m，NO.3 二沉池為 0.33 m，污泥管線最短的 NO.2 二沉池為 0.18 m，污泥管線最長的 NO.4 二沉池為 0.47 m。
2. 如果二沉池的污泥流出量較大，則其污泥毯厚度會降低；相反的，如果二沉池的污泥流出量較小，則其污泥毯厚度會升高。污泥毯厚度較高時，被出流水挾帶出去的污泥量會較多，嚴重時，出水 SS 會不符合放流水標準。污泥毯厚度較低時，迴流污泥泵只會抽到澄清液，抽不到污泥，此時是浪費能源。
3. 為使 4 座二沉池的迴流污泥排泥量相同，方案一係在濕井內增設提流斯克閥，另一方案是廢棄既有迴流污泥井，改採二沉池污泥管直接連接至迴流污泥泵的方式。
4. 未來如二沉池發生大量污泥被出流水挾帶出去的情況，導致放流水水質惡化時，可考量在池牆內加裝史坦福擋板。

### 參考文獻

- 陳伯珍等 (1996)，污水處理廠操作評估新技術，環境工程會刊，第七卷第二期，p.39-44。
- 蕭宇展等 (2020)，沉澱池水流形態分析，博特水業公司委託之專題測試報告。