



中原大學
Chung Yuan Christian University

110年度淨水單元管理操作維護訓練班

混凝、膠凝及沉澱原理功能

林志麟

中原大學環工系

110年12月20日



中原大學
環境工程學系
Environmental Engineering

 水環境科技研究室
WATER ENVIRONMENT TECHNOLOGY

水廠運行管理之主要問題

問題起因

水質面

- 高濁原水
- 低濁難處理原水
- 高藻原水
- 高鐵、錳原水
- 高有機污染原水
- 含砷原水

關鍵問題

原水水質超過水廠處理單元負荷，造成出水水質異常，甚至停止供水

操作面

- 前氧化加藥方式
- 混凝加藥控制
- 沉澱池操作及排泥
- 過濾池操作及反洗

水處理單元操控無法有效且穩定的發揮功效，造成單元操作效能不彰或出水水質不佳

混凝、膠凝單元操作原理



為何需要混凝與膠凝？

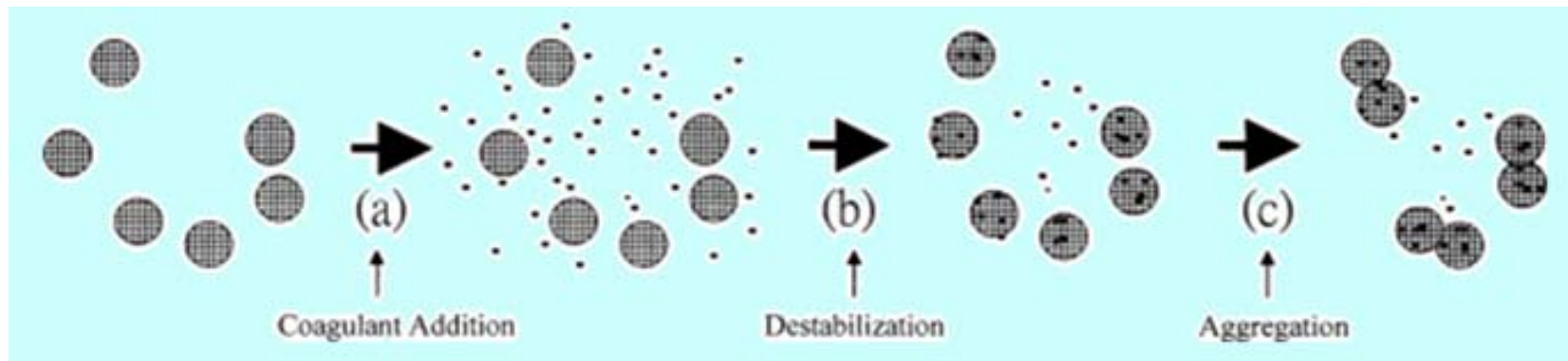
Relationship between the **Particle Size** and the **Settling Time**

Particle diameter (mm)	Particle Type	Settling Time (Through 1 m)
10	Gravel	1 second
1.0	Sand	10 seconds
0.1	Fine Sand	2 minutes
0.01	Clay	2 hours
0.001	Bacteria	8 days
0.0001	Colloidal Particles	2 years
0.00001	Colloidal Particles	20 years

- ✓ **Colloids** – Impart **color** and **turbidity** to water – **Aesthetically** not acceptable
- ✓ **Colloids** – so **small** – **gravity settling not possible**
膠體粒子

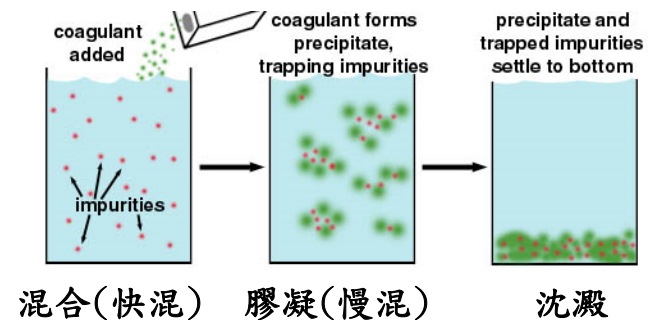
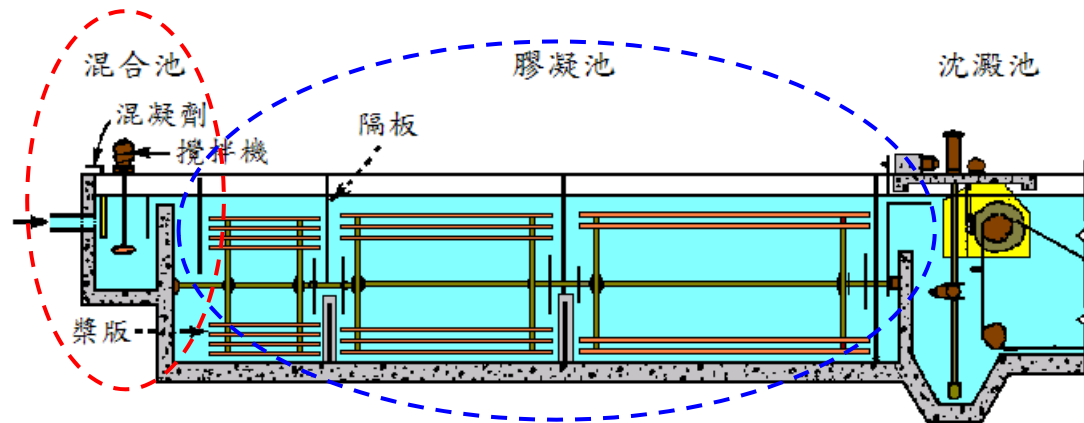
如何進行混凝與膠凝？

- # 水中膠體粒子呈分散狀態（穩定狀態）因其表面帶電相斥。
- # 添加混凝劑，降低粒子電位使易於凝聚，或產生沈澱物將粒子絆除。



混凝單元定義

- # 混合池 (快混池；Rapid mixing Tank；Coagulation Basin)
 - 使加入之混凝劑與原水均勻混合之水池。
- # 膠凝池 (膠羽池；慢混池；Flocculation Basin)
 - 原水加混凝劑混合後膠羽形成凝聚之水池。
- # 混凝池 (Flocculation Tank)
 - 係指混合池和膠凝池之總稱。

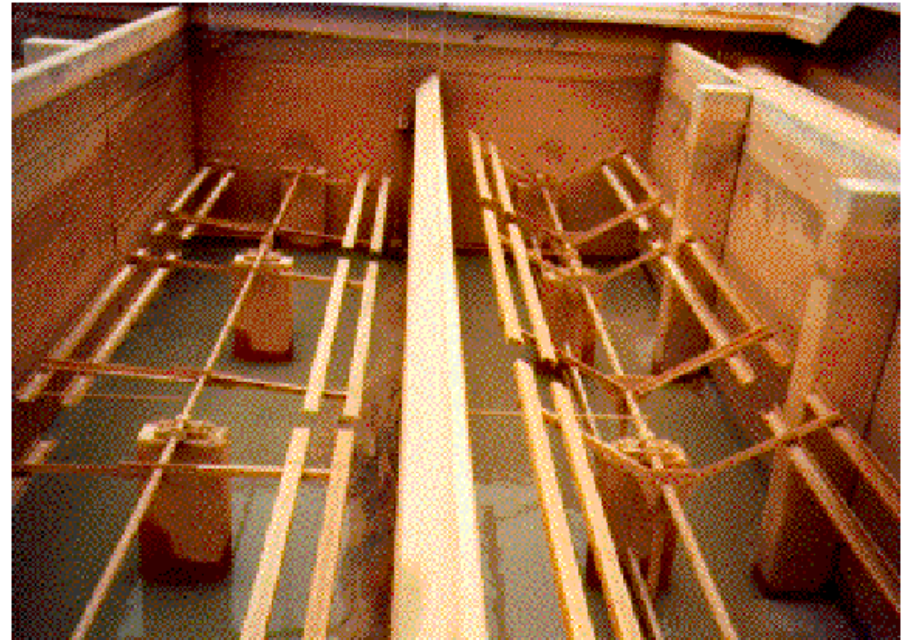


混凝池與膠凝池

Rapid Mixer



Flocculator



◆ 混凝藥劑定義

◆ 混凝劑 (Coagulant)

- 使水中懸浮物及膠體凝集而形成膠羽為目的而加入水中的化學藥品。

◆ 助凝劑 (Coagulant aid)

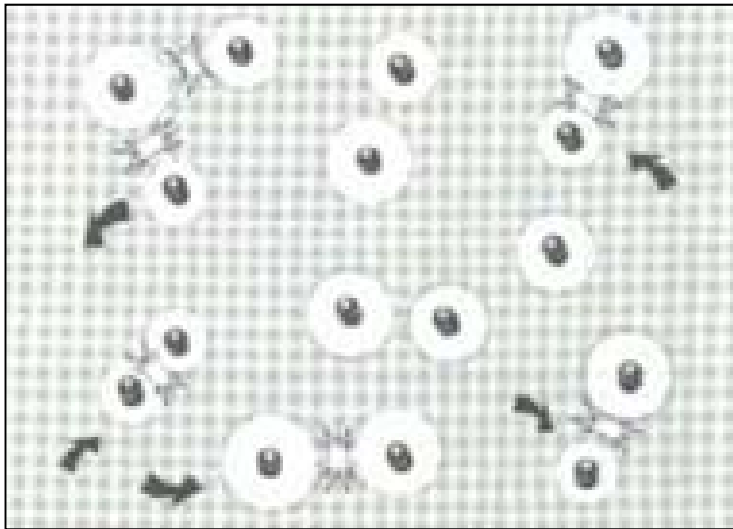
- 為增加混凝劑之效果而添加之化學藥品。

◆ 膠羽 (Floc)

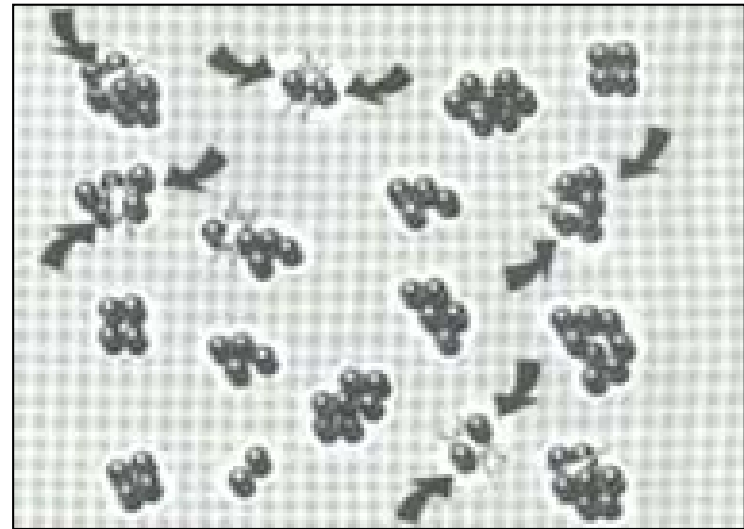
- 以混凝劑混於水中所形成之凝聚體。

膠體粒子之荷電與穩定

- # 懸浮在水中，粒徑分佈在 $10^{-6} \sim 10^{-9}$ m，形成分散狀態之粒子，稱之為膠體粒子 (colloidal particles)。
- # 膠體粒子在水中之分散(穩定)狀態係因粒子表面帶電互斥所致。



分散狀態之膠體粒子

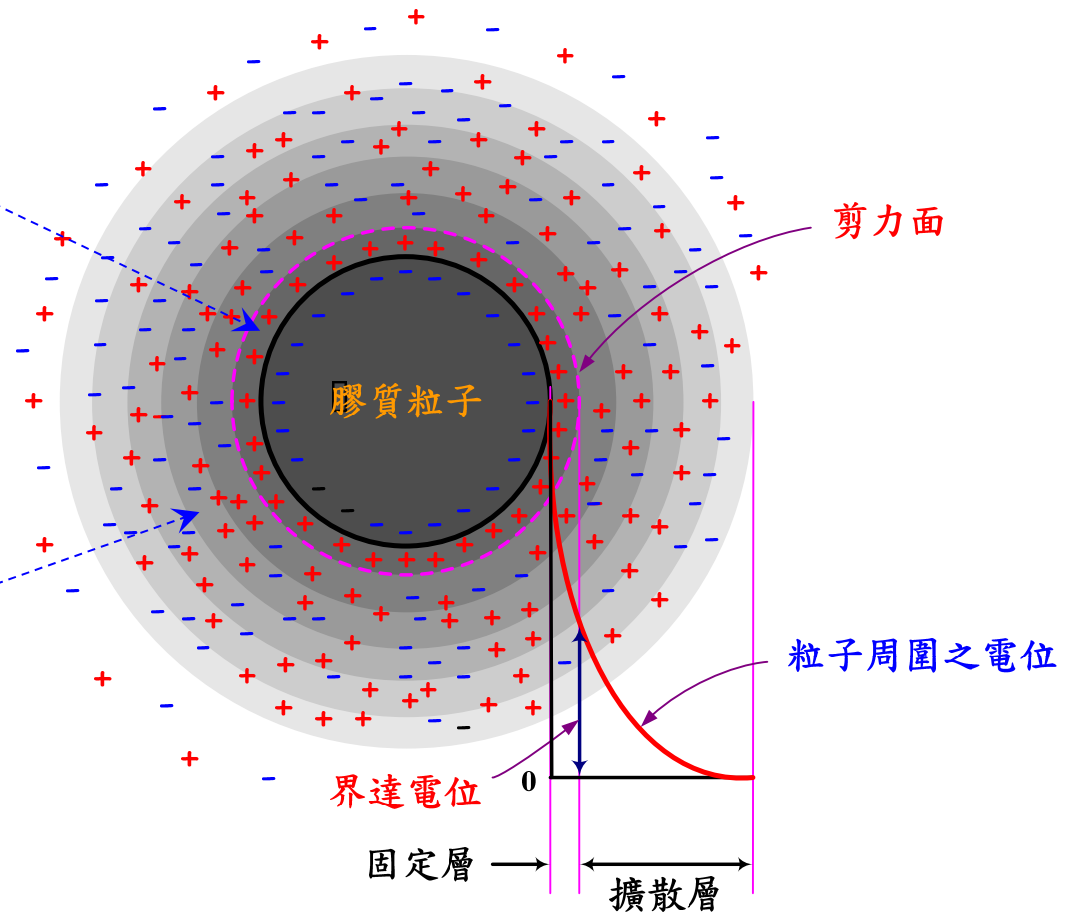


凝聚狀態之膠體粒子

電雙層(electrical double layer)

粒子表面完全吸附著水中相反(正)離子所形成之範圍為**固定層**。

固定層之外，正離子濃度逐漸減少，負離子濃度逐漸增加，直至正負離子濃度相等，**電位為零**之範圍為**擴散層**。



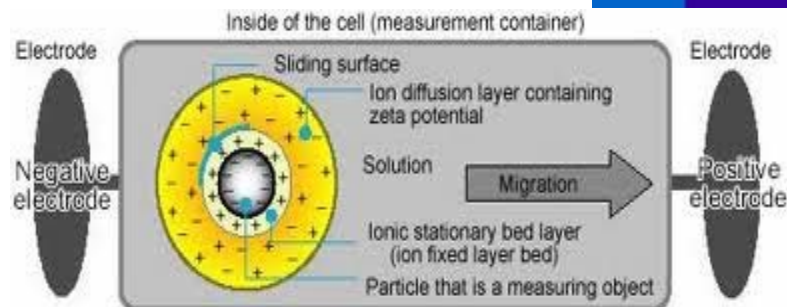
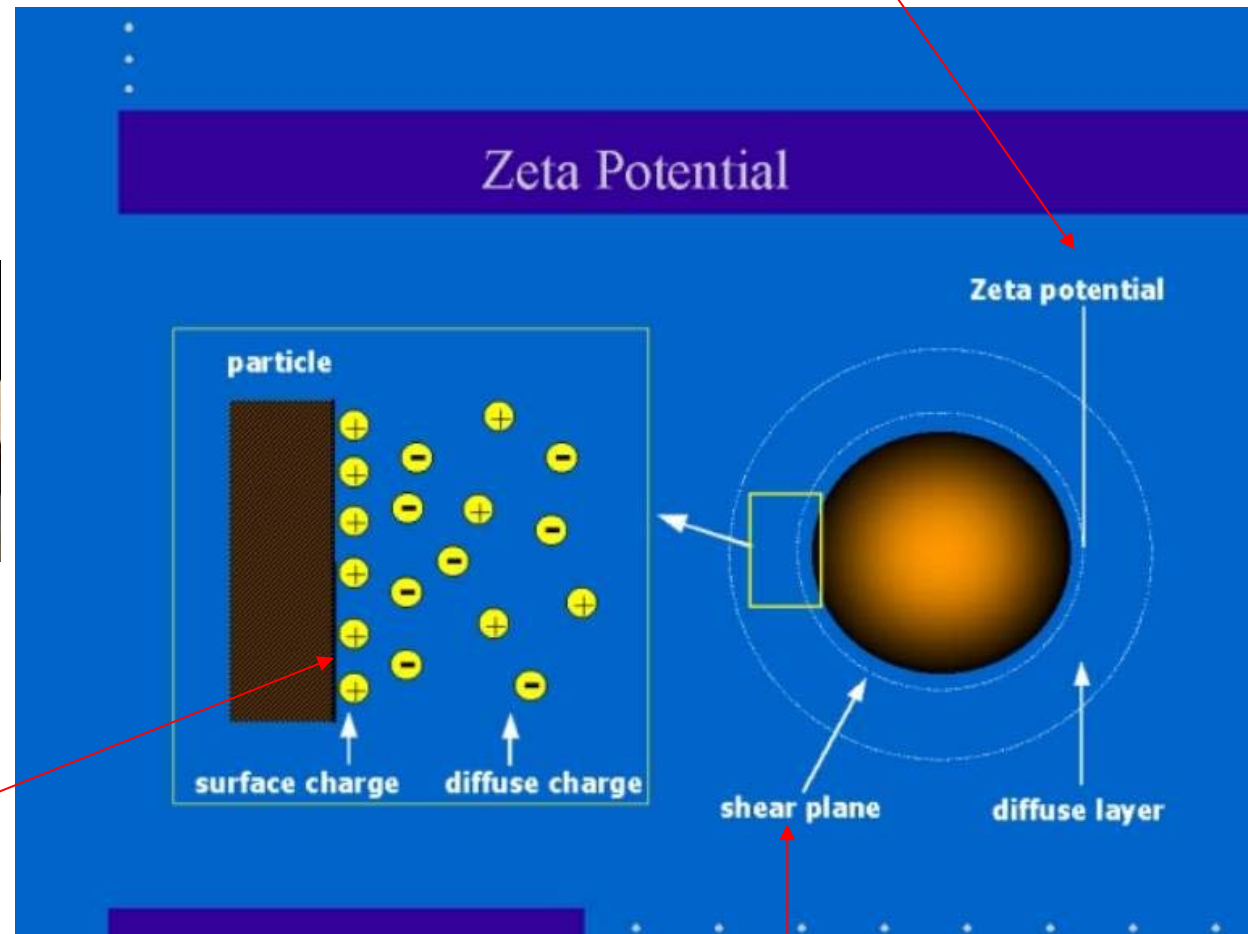
✚ 剪力面與界達電位

位於**剪力面**之電位稱之為
界達電位 (zeta potential)



界達電位分析儀

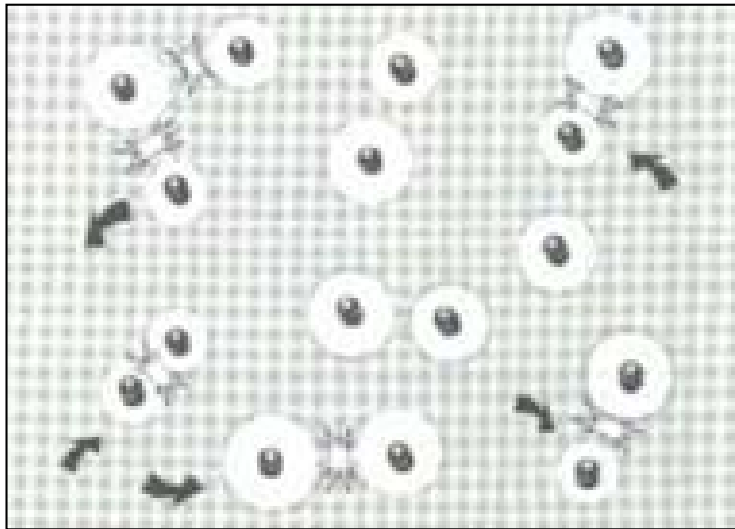
位於**粒子表面**的電位
稱之為**南史特電位**
(Nerst potential)。



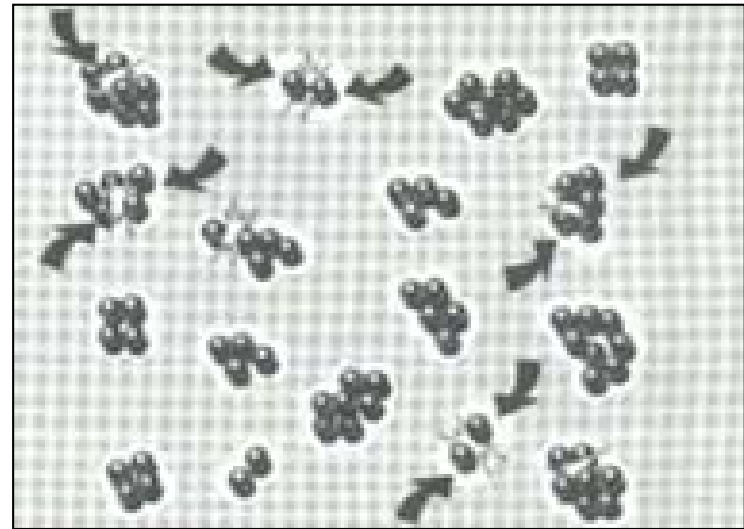
在膠體粒子之表面，有一**固定於粒子的水層**，
當粒子移動時，與周圍靜止水間形成一滑動面
稱之為**剪力面**，剪力面一般即為**固定層**之面

界達電位

- # 界達電位為膠體粒子表面荷電狀態(電雙層)之重要指標，為判斷粒子在水中穩定(分散)或不穩定(凝聚)之重要因子
 - 界達電位高，表示膠體粒子分散力強，為穩定之狀態。
 - 界達電位低，表示膠體粒子之穩定性低

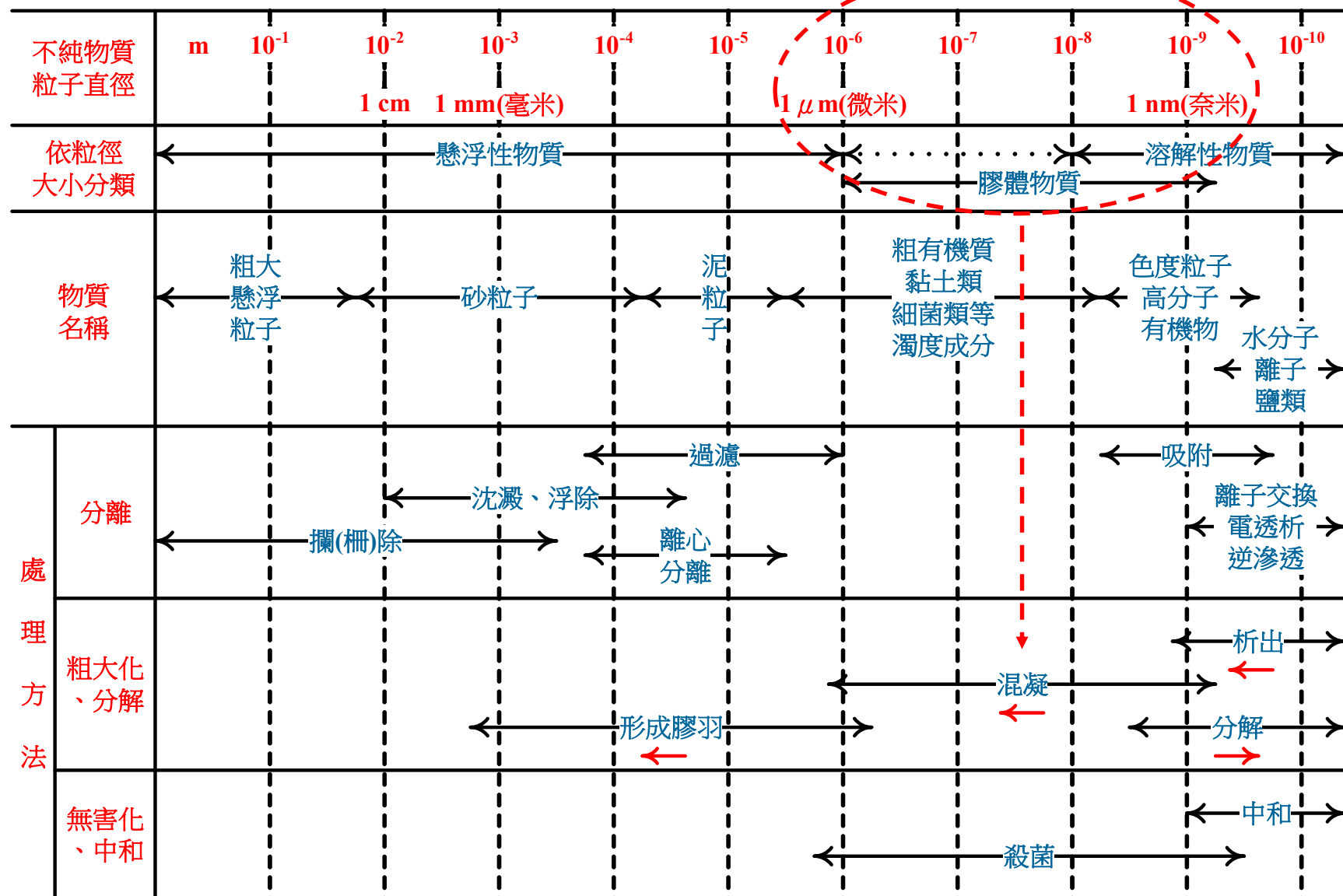


界達電位高時膠體粒子呈分散狀態



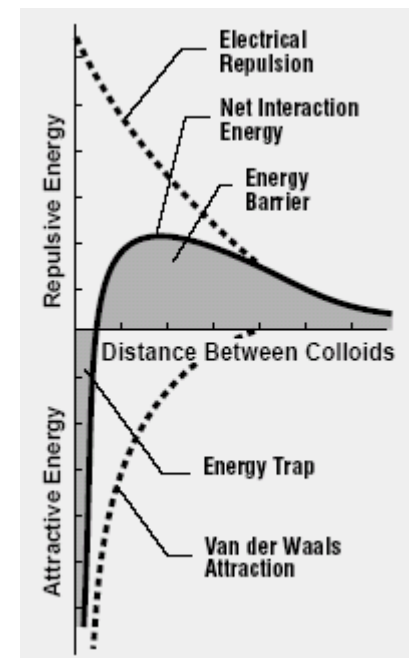
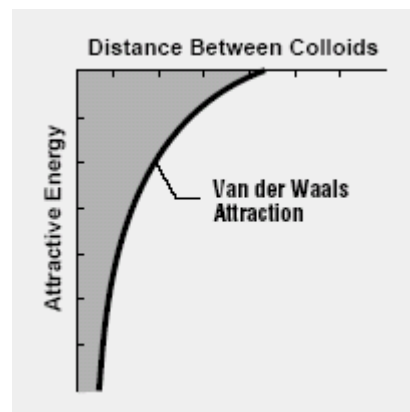
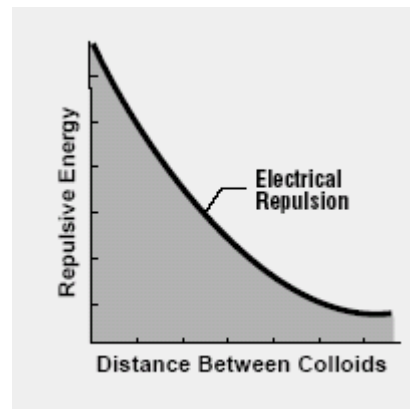
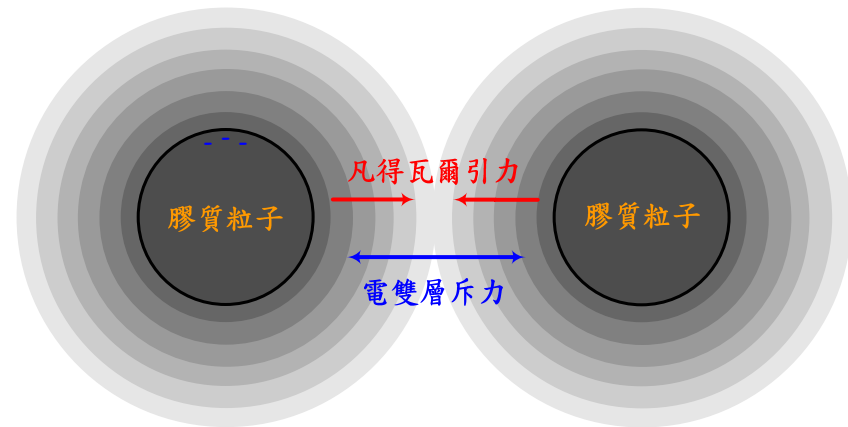
界達電位低時膠體粒子呈凝聚狀態

水中不純物質之特性與處理法



膠體粒子之穩定

電雙層斥力及凡得瓦爾引力兩力之組合結果，形成膠體粒子之穩定(分散)性。

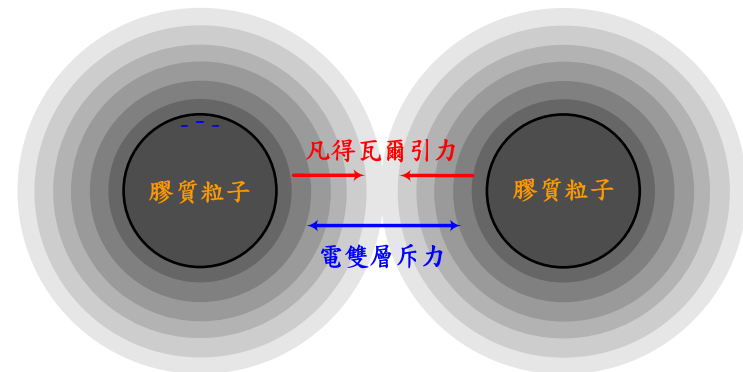
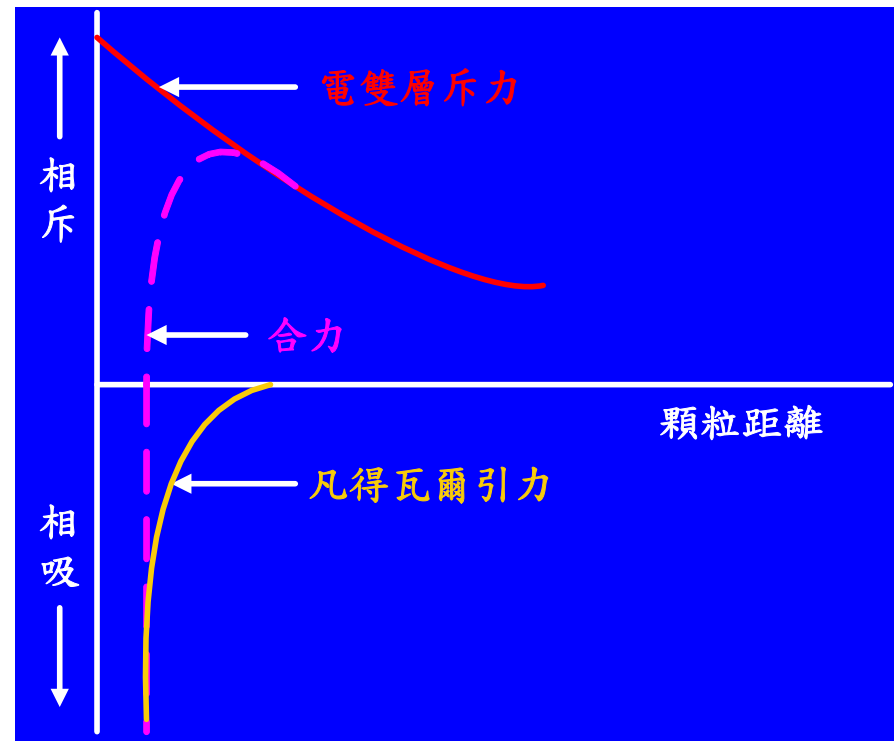


電雙層斥力曲線及凡得瓦爾力引力曲線可組合一綜合曲線，以表示淨能量關係。

由此曲線可知：

- 在某段距離以上時，排斥力佔優勢。
- 但若顆粒相互接近，則由凡得瓦爾力佔優勢，且可使顆粒合併。

攪拌有助於顆粒凝聚結合



為使膠體粒子凝集，必需產生兩步驟：

1) 減少排斥力 (解除粒子穩定)

2) 移動粒子 (使解除穩定之顆粒互相接觸)

典型淨水場之淨水工程其混凝作用發生於混合(快混)與膠凝(慢混)單元中。

通過攪拌設備可使粒子碰撞、接觸、凝聚

加入適當之化學藥品(混凝劑)可解除粒子穩定

解除粒子穩定之機制

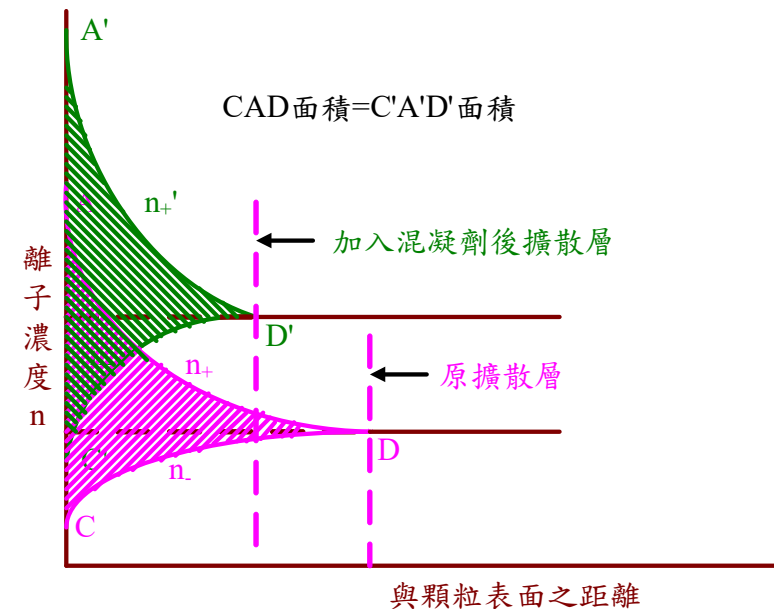
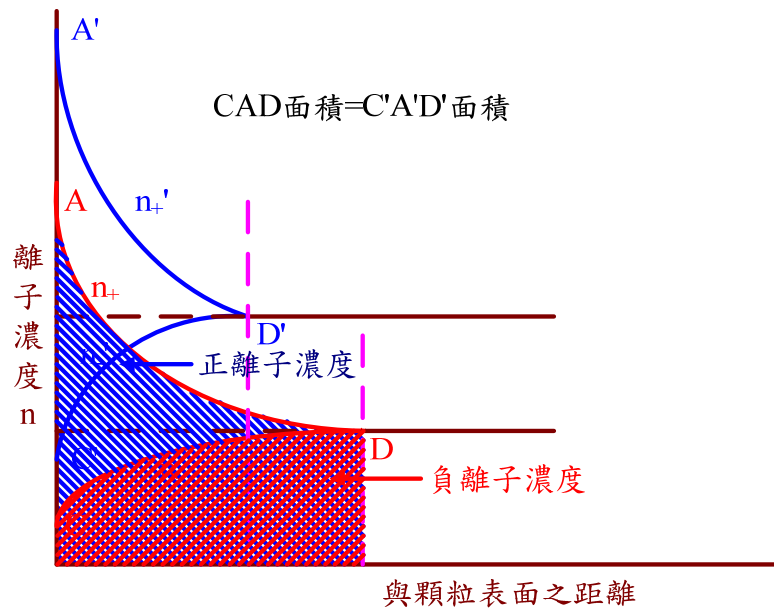


加藥混合使膠質粒子不穩定有四種機制

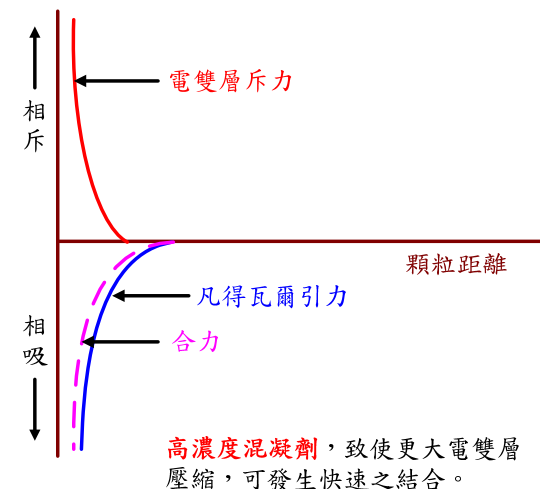
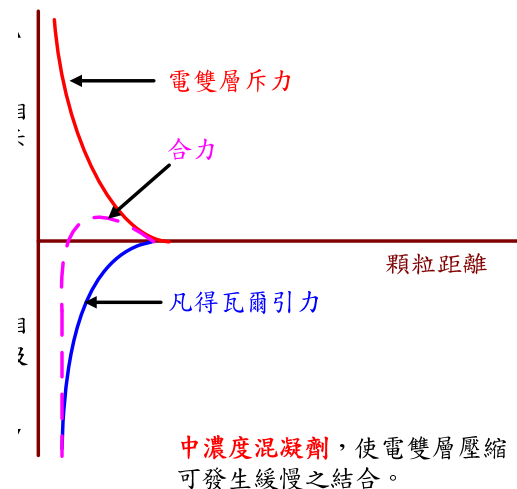
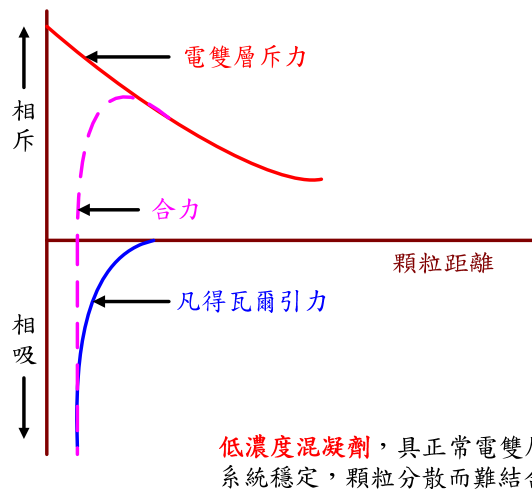
1. 電雙層(擴散層)壓縮
2. 吸附及電性中和
3. 沉澱絆除
4. 吸附及架橋作用

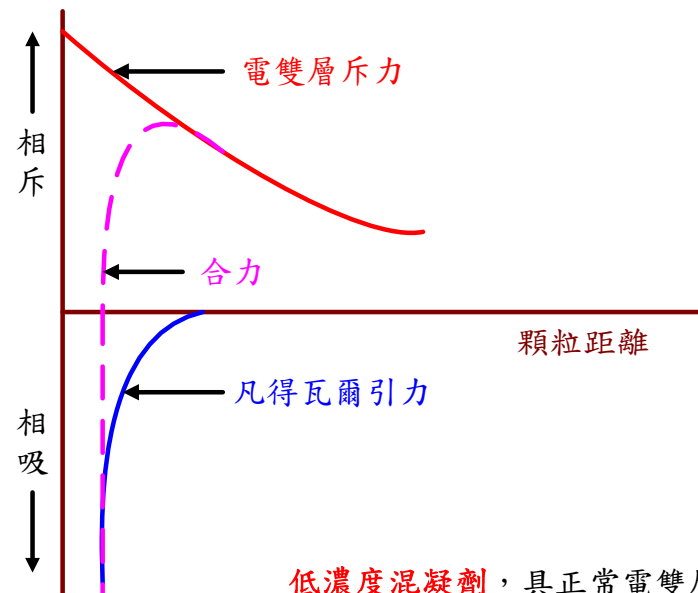
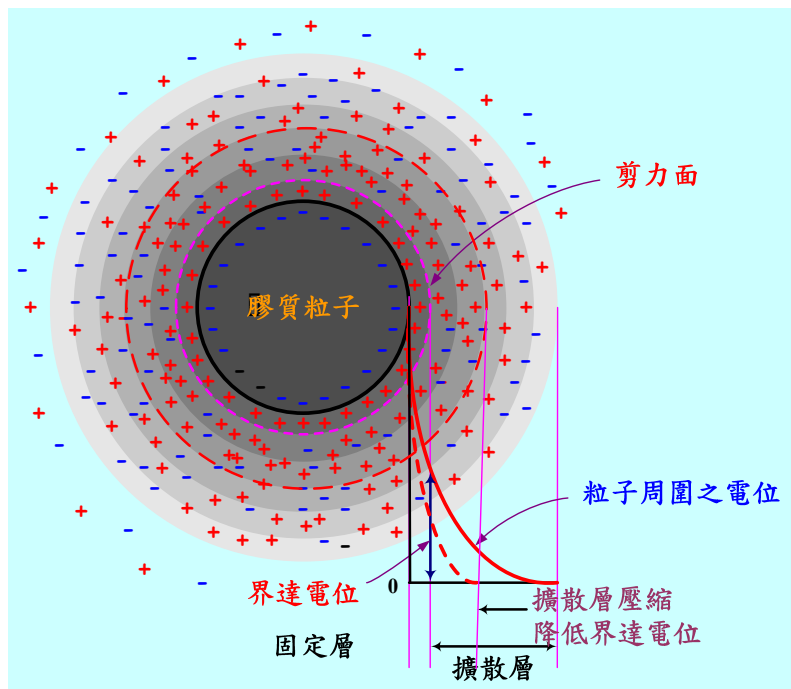
1. 電雙層(擴散層)壓縮

- # 加入**混凝劑**（**電解質**）可使**擴散層之電荷密度增加**，**減小中和粒子表面電荷所需之擴散層體積**。
- # 此時**擴散層之總淨電荷並無改變**，但**厚度則漸縮小**，**能障漸減甚或消失**，**粒子間之穩定性被破壞**，**粒子因而結合**。

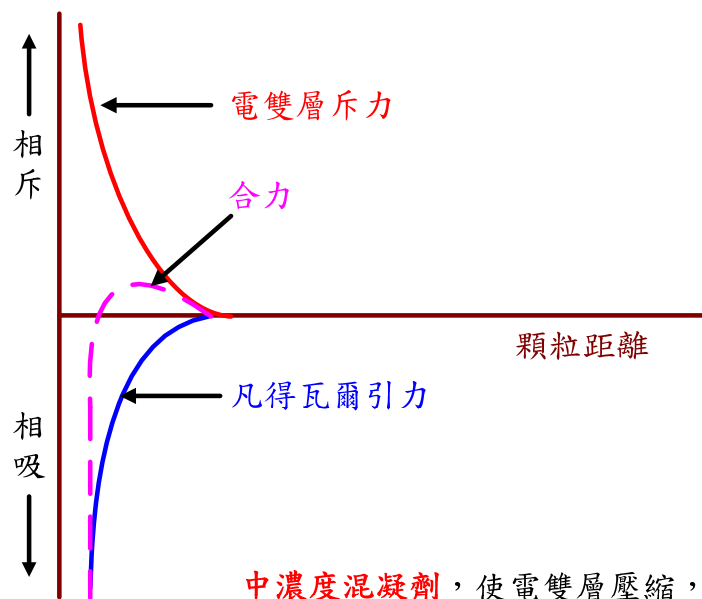


- # 欲使粒子結合，需有足夠之動能以克服綜合曲線(合力)之能量障礙。添加化學藥品(混凝劑)，可克服穩定膠體粒子間之斥力，使粒子接近、凝聚。添加混凝劑可以降低界達電位至零附近，使粒子間電雙層之相斥力變小，凡得瓦爾力之吸引力變大，而產生混凝效果。
- # 與膠體粒子相反電荷之離子(混凝劑)，其原子價愈大，凝聚力也愈大，稱為 Schultze Hardy 法則。

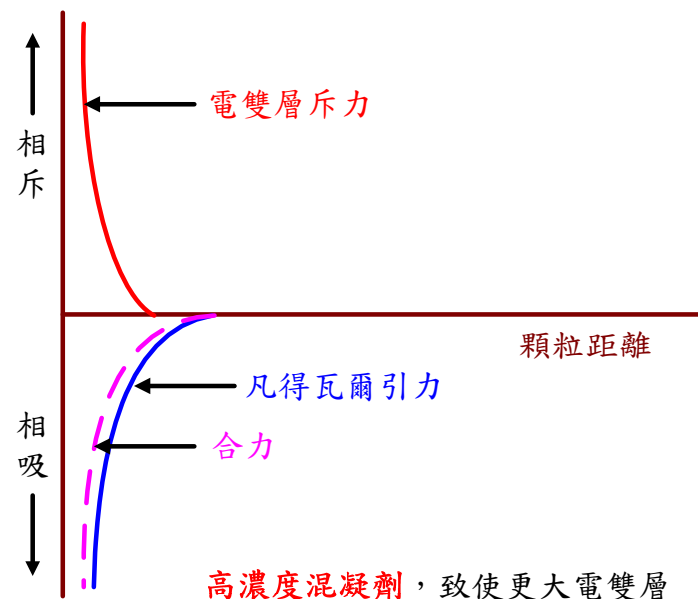




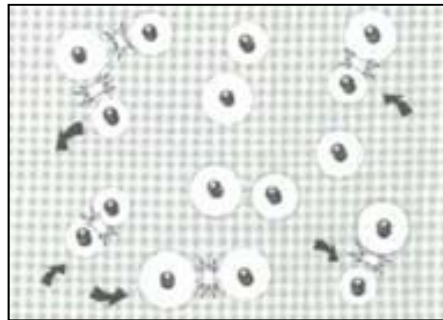
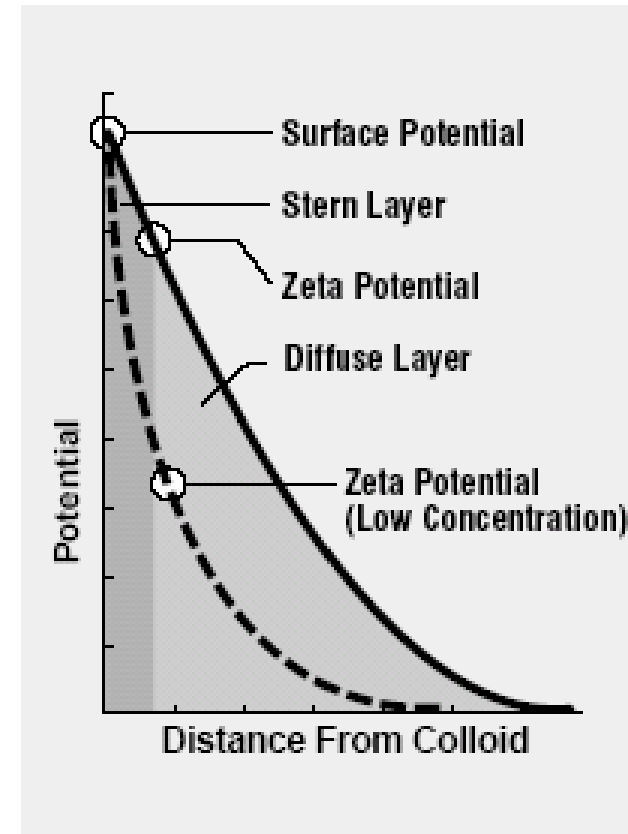
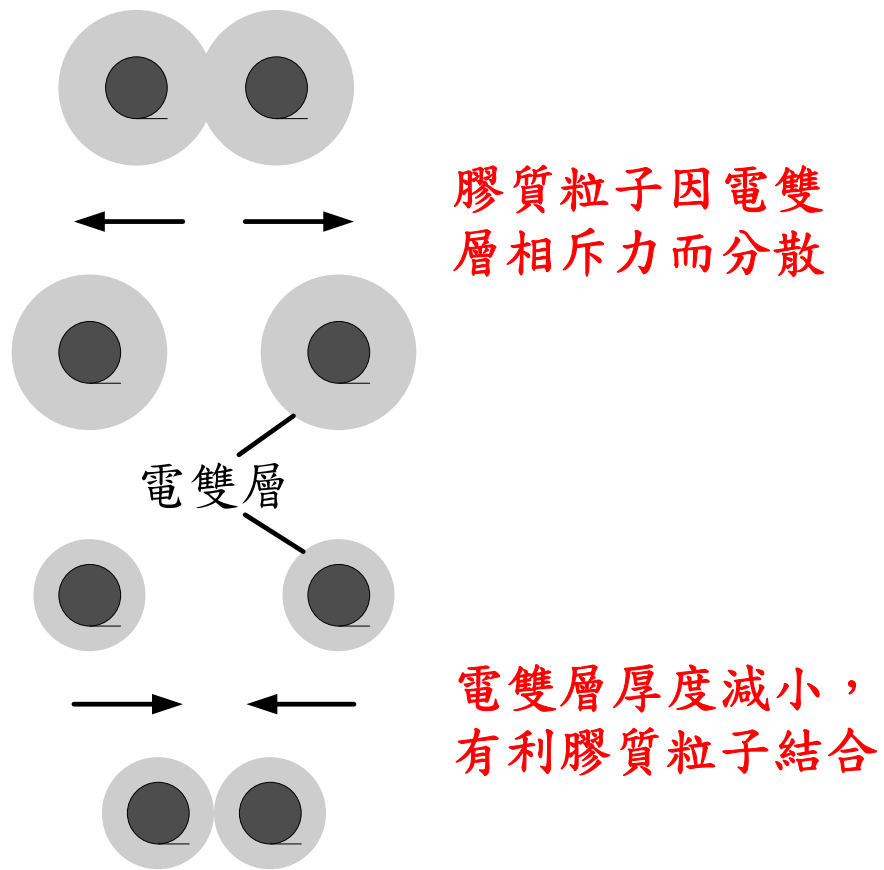
低濃度混凝劑，具正常電雙層厚度，系統穩定，顆粒分散而難結合。



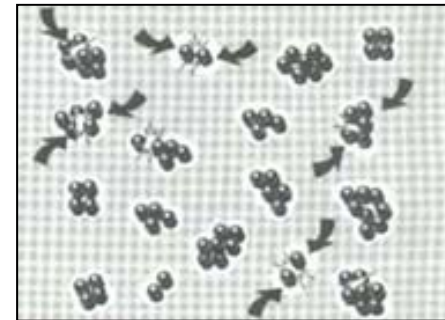
中濃度混凝劑，使電雙層壓縮，可發生緩慢之結合。



高濃度混凝劑，致使更大電雙層壓縮，可發生快速之結合。



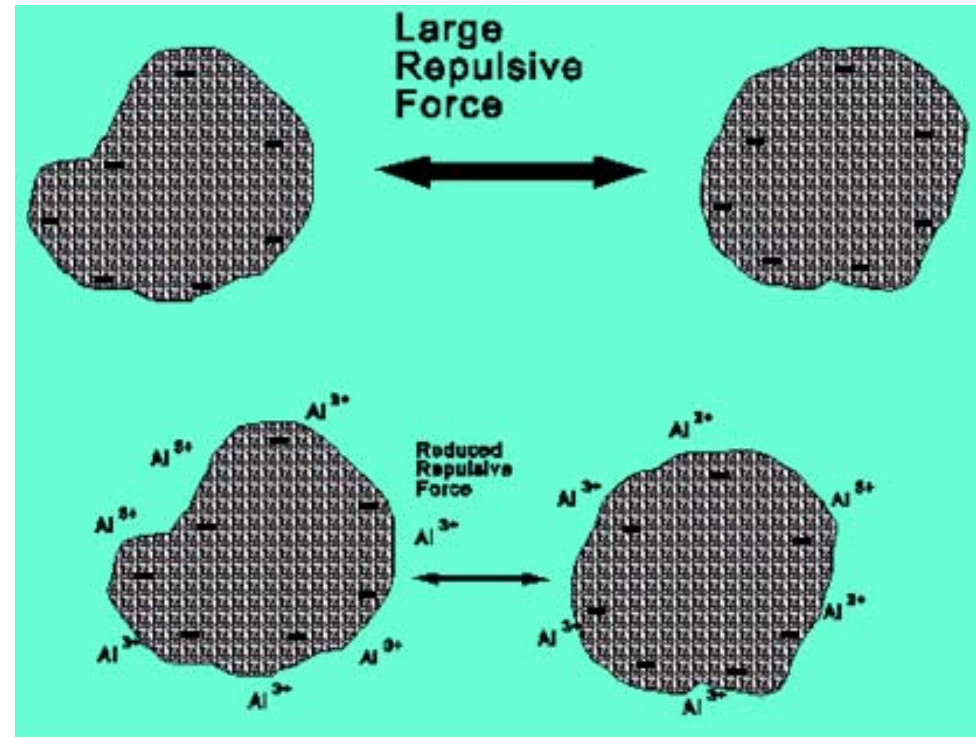
界達電位高時膠體粒子呈分散狀態



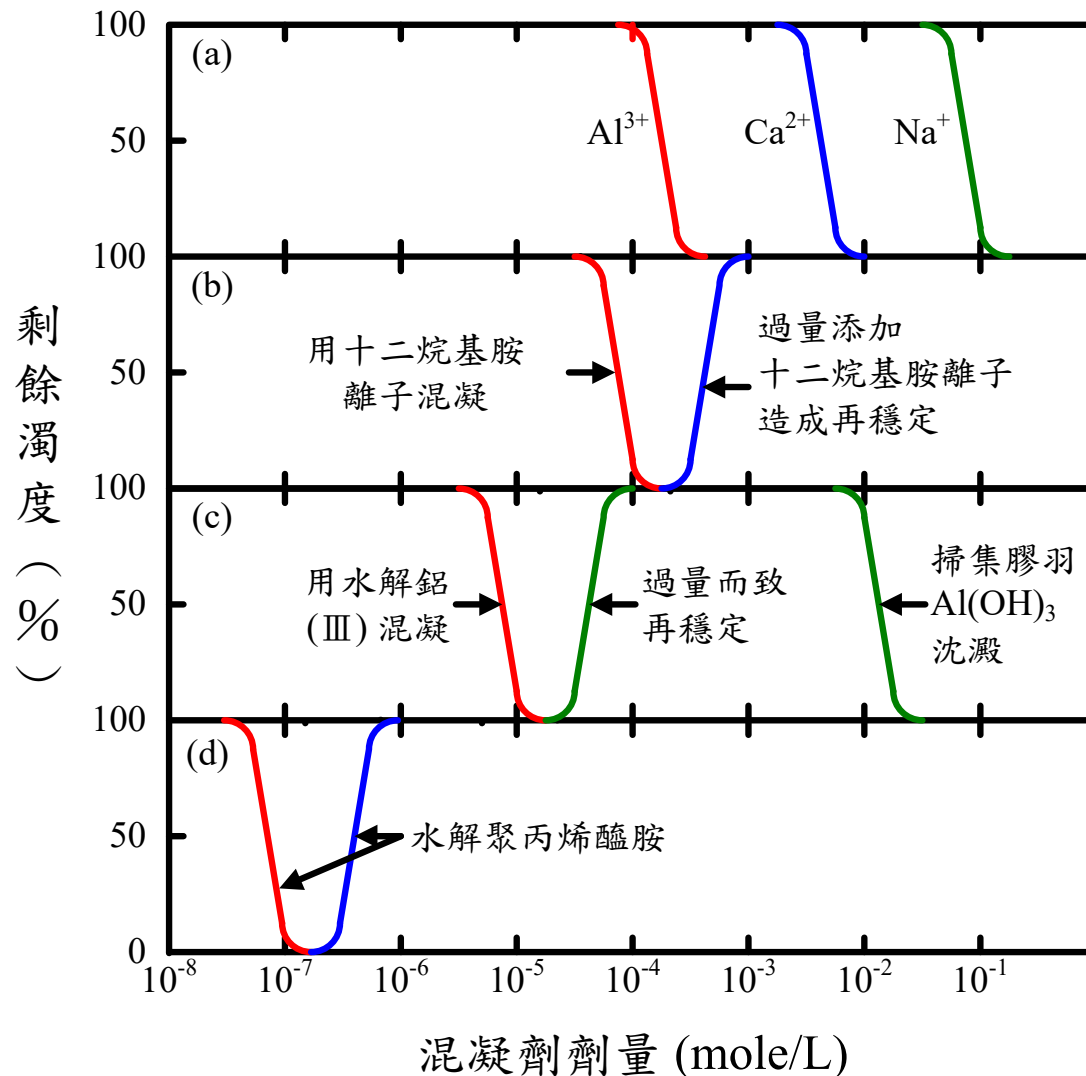
界達電位低時膠體粒子呈凝聚狀態

2. 吸附及電性中和

某些化學凝劑易被膠體粒子表面所吸附，若被吸附之電荷與膠體粒子相反，則此種吸附可使粒子表面電位減小，膠體粒子之穩定得以解除。



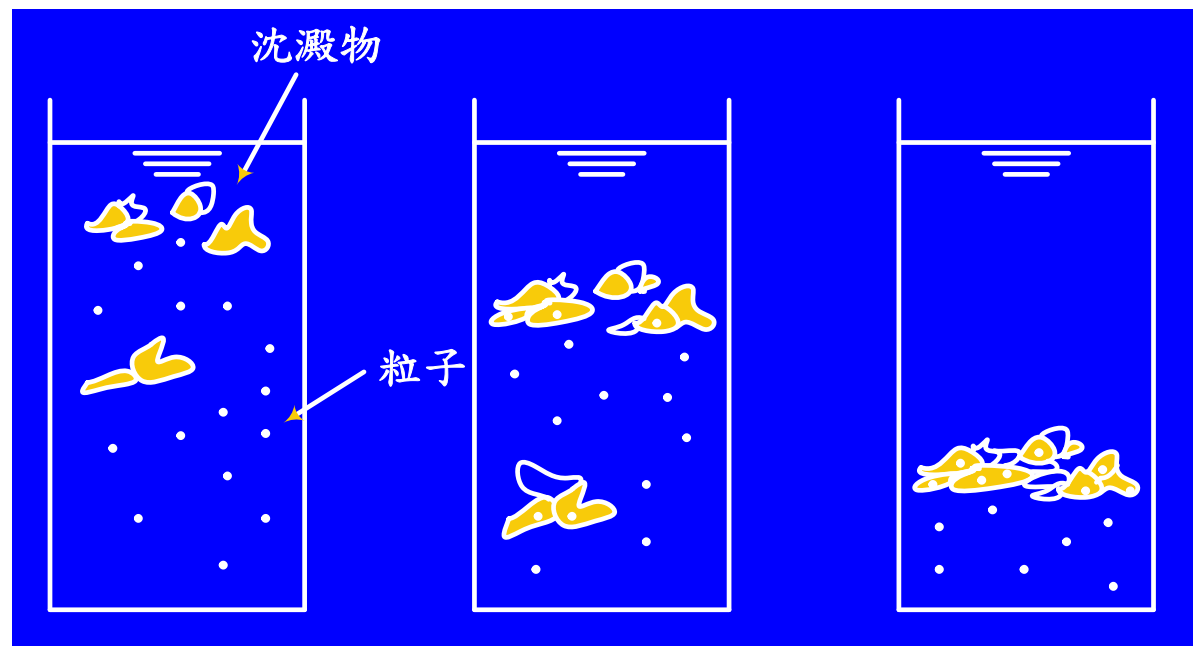
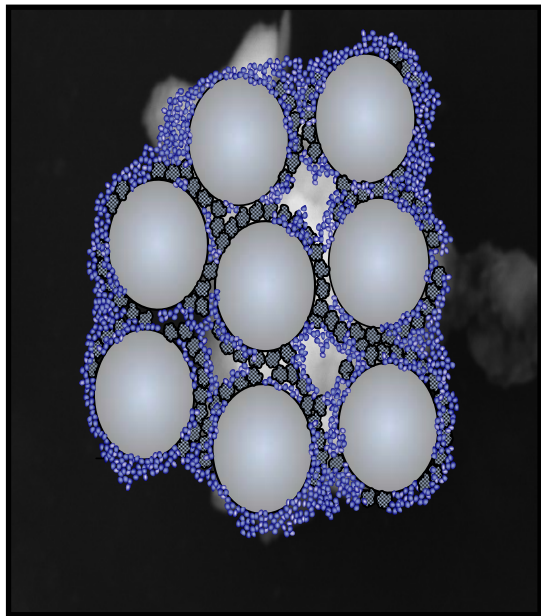
添加與膠體粒子相反電荷之離子(凝劑)，其原子價愈大，凝力也愈強，此效應稱為 Schultze Hardy 法則。二價離子為一價離子之 20 ~ 50 倍，三價離子為一價離子之 500 ~ 1000 倍的凝效果。



吸附性凝劑如果超量添加，將使膠體粒子因電性逆轉(電荷由負變正)而再度穩定。

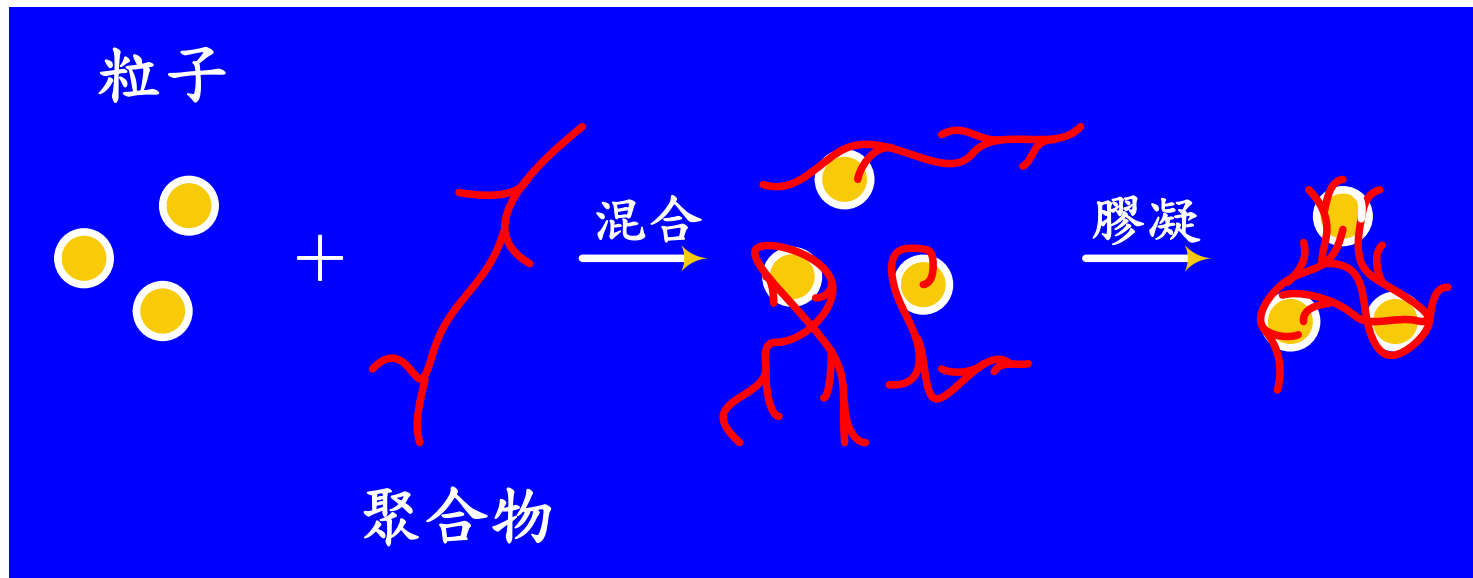
3. 沉澱絆除

- ✱ 加於水中之混凝劑如**硫酸鋁** $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ，其加藥量很大時，可迅速產生**不溶性之沉澱物** $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，可包覆住膠體粒子表面，形成較大的顆粒物。同時，膠體粒子也可在**沉澱物或顆粒物沉澱過程被絆除**。絆除膠羽穩定機制**與表面電性中和無關**



4. 吸附及架橋作用

- # 高分子之架橋物質如澱粉 (Starch)、蛋白質物質、聚合物 (Polymer)、多醣樹膠 (Polysaccharide Gums)、纖維素 (Cellulose) 等，此類物質之特性為分子量甚大，可發揮化學結合力，將粒子吸附去除。



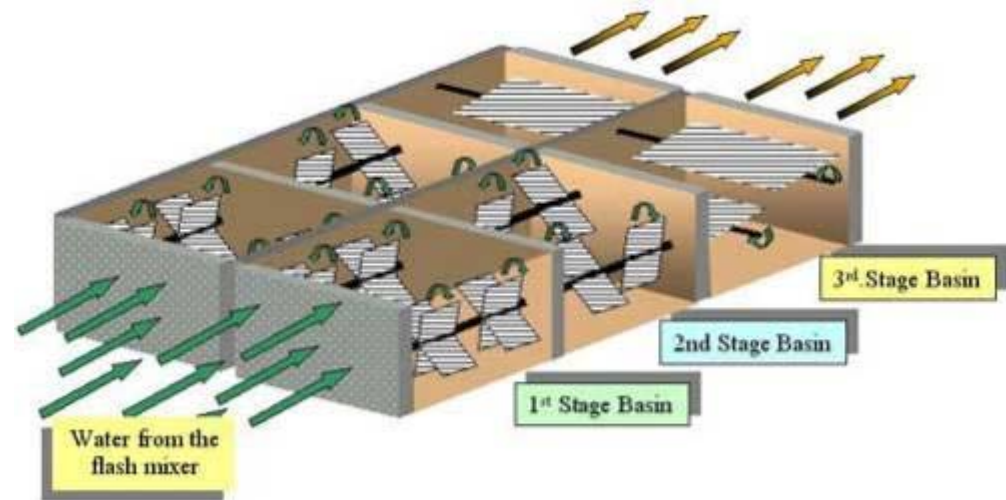
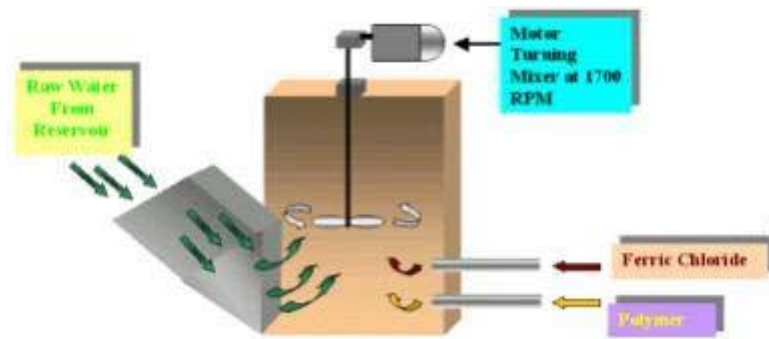
混合與膠凝作用

✱ 「混合」一般係指顆粒電性破壞之過程

- ✱ 電雙層壓縮
- ✱ 電性中和

✱ 「膠凝」則指顆粒凝集變大之過程

- ✱ 沉澱絆除
- ✱ 架橋作用



混凝劑



解除膠體粒子的穩定所使用之化學藥品，
可視其操作型態而稱為**混凝劑**。

✚ 混凝劑 (Coagulants)

水處理中一般使用之**混凝劑**有

- 硫酸鋁： $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$
- 聚合氯化鋁 (PAC)：poly-aluminum chloride
- 硫酸亞鐵： $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$
- 硫酸鐵： $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$

其中又以**硫酸鋁** (aluminum sulfate)
即**明礬** (alum) 最大量被使用。



✚ 硫酸鋁加入水中解除粒子穩定有兩機制

✚ 硫酸鋁解除穩定有兩機制：

(1) 吸附及電性中和，(2) 沈澱絆除膠羽。

✚ 當硫酸鋁加入水中時，立即電離形成三價 Al^{3+} 離子，進而與水(H_2O)化合成為 $(\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+})$ ：



✚ $\text{Al}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$ 再經一連串水解反應， H_2O 分子被 OH^- 離子所取代，形成不同之溶解性物質，如 $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ 、 $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ 及 $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ 等，雖然此類水解產物可能只有一或二個正電荷，但對負電荷膠體粒子表面之吸附性甚強。

✚ 硫酸鋁加入水中解除粒子穩定有兩機制

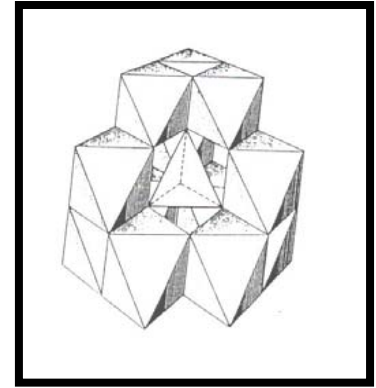
- # 當加入水中之硫酸鋁濃度少於氫氧化鋁溶解度極限 ($4 < \text{pH} < 6$) 時，硫酸鋁會以形成之水解產物，吸附於膠體粒子，中和其電性而解除穩定。
- # 當加入水中之硫酸鋁濃度超過氫氧化鋁溶解度極限 ($6 < \text{pH} < 8$) 時，則水解產物皆為中間物質，最後均形成氫氧化鋁 ($\text{Al}(\text{OH})_3$) 沉澱：



此時由於沉澱物之絆除而產生混凝作用。

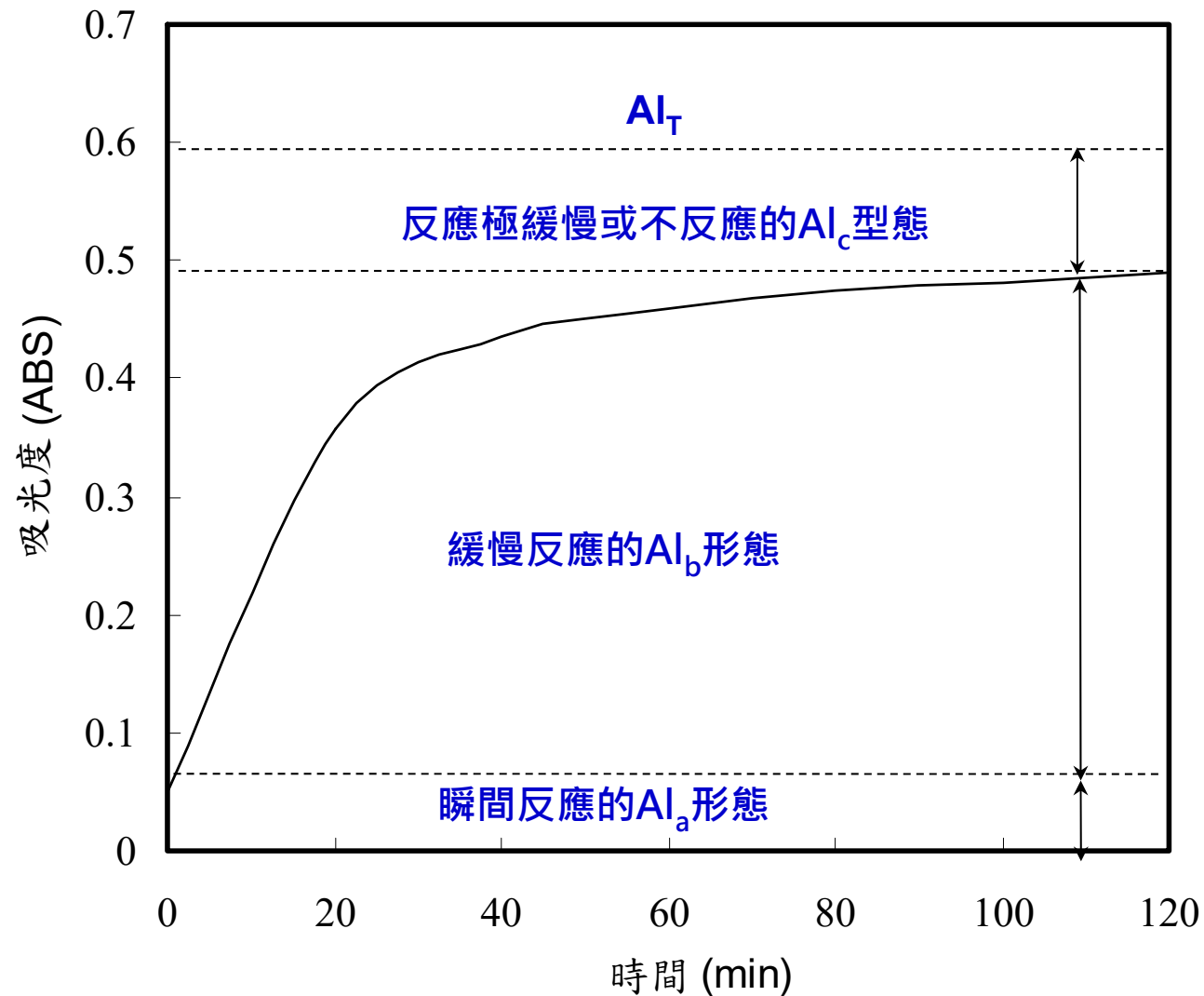
- # pH 值、混凝劑添加量及膠體粒子濃度間之關係可決定混凝之機制。

聚氯化鋁 (PACl)



- $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{4+}$ 、 $\text{Al}_3(\text{OH})_4^{5+}$ 、 $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$ 。
- 較著名為 $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$ 及 Al_{13}
- 此tridecamer有“Keggin結構”的結構，組成一個中央為四面體 AlO_4^{5-} 單位，由12個鋁八面體包圍其共享邊緣
- 於天然水體環境及酸性土壤水體中可被測得
- Al_{13} 於水溶液中之離子半徑約為 **1.3 nm**
- 其他聚核心物種具八聚合物： $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$
- 鋁型態研究可利用鐵試劑(8-hydroxy-7-iodo-5-quinoline sulfonic acid)進行逐時螯合比色法
 - 單體鋁、聚合鋁及膠體鋁

PAC1鋁型態分析



Al型態測定 (Smith, 1973)

Al-Ferron

逐時螯合比色法

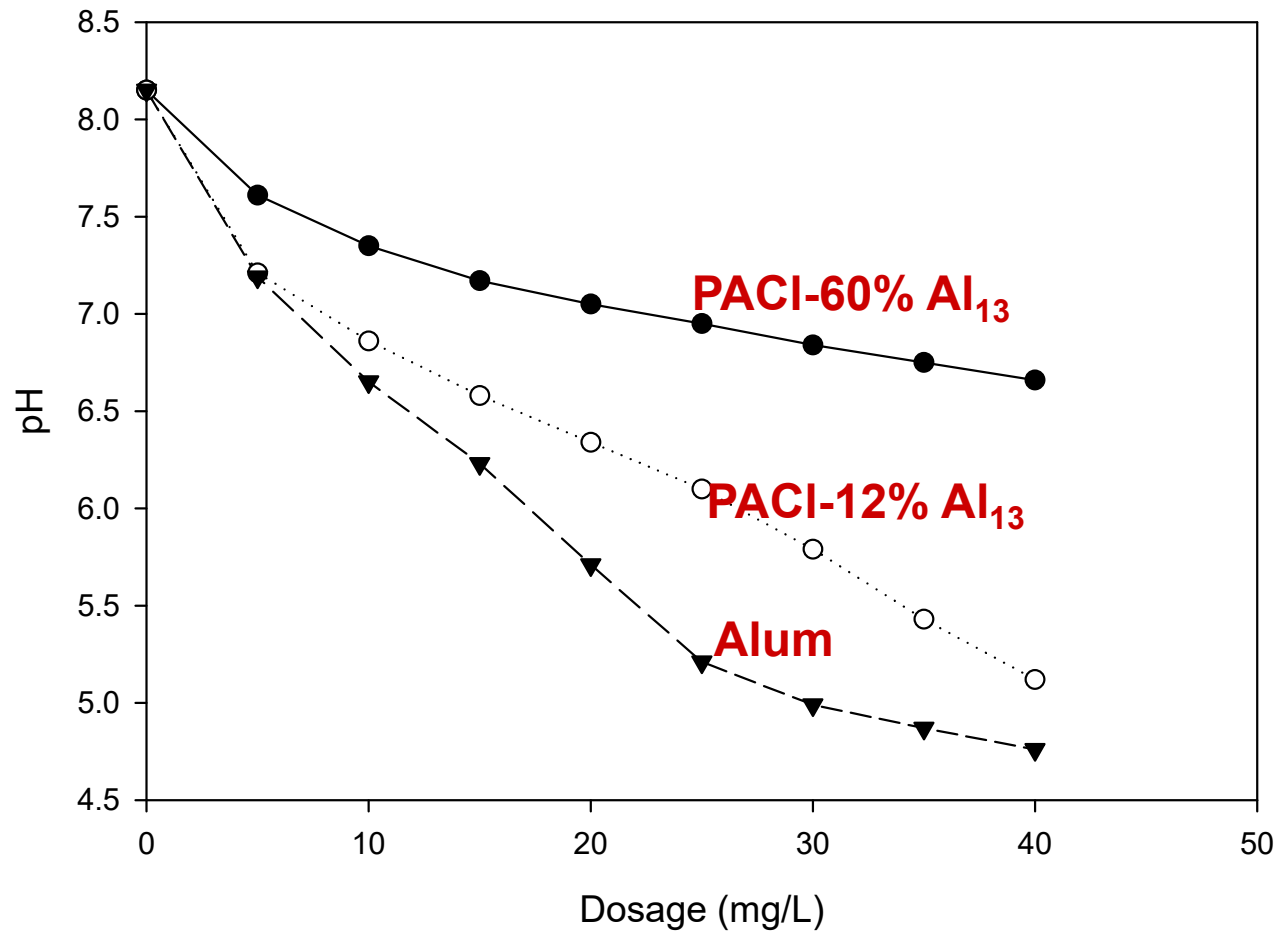
Al_a : 單體鋁 (Al^{3+})

Al_b : 聚合鋁 (Al_{13})

Al_c : 膠體鋁 ($Al(OH)_3$)

$Al_T = Al_a + Al_b + Al_c$

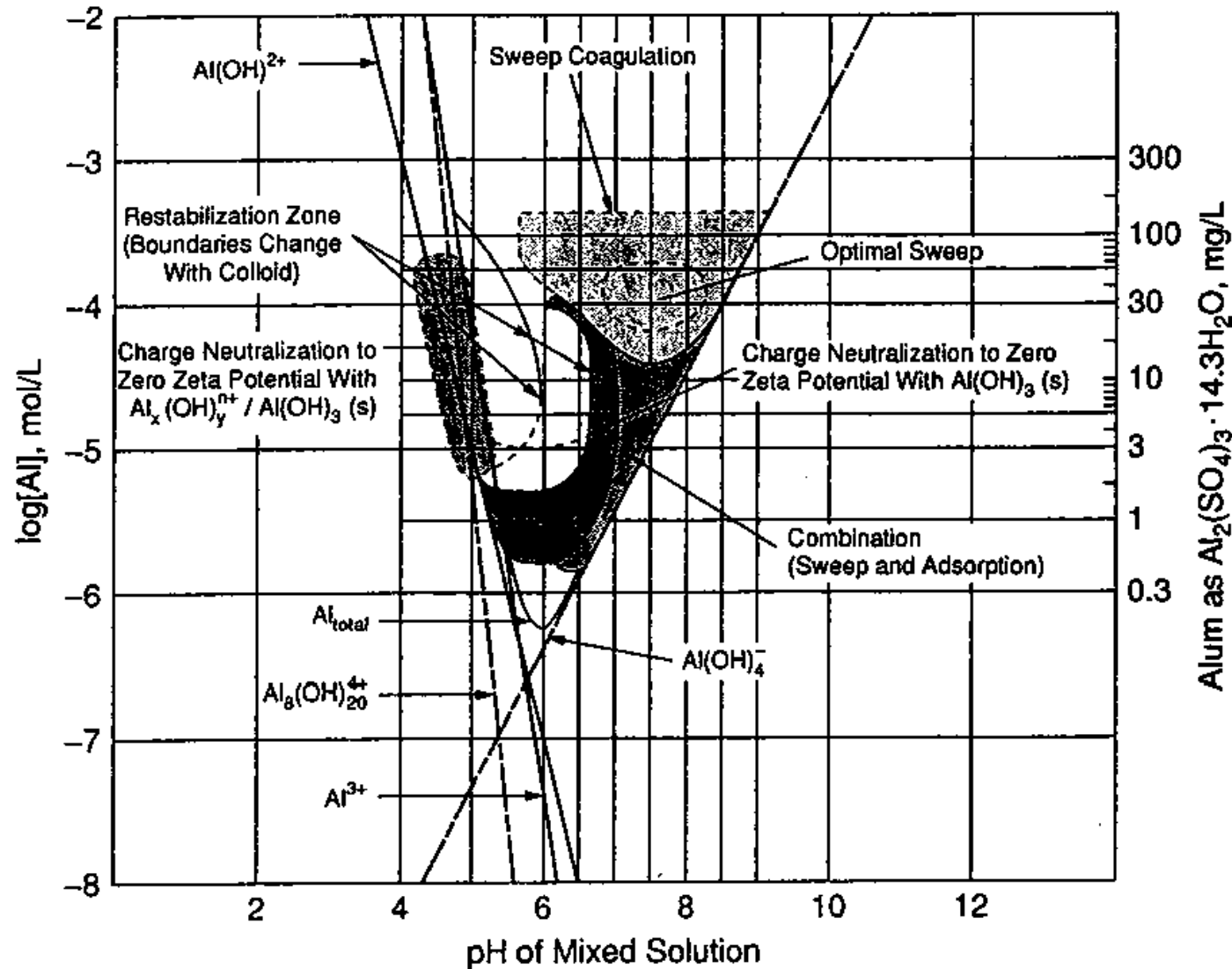
消耗鹼度



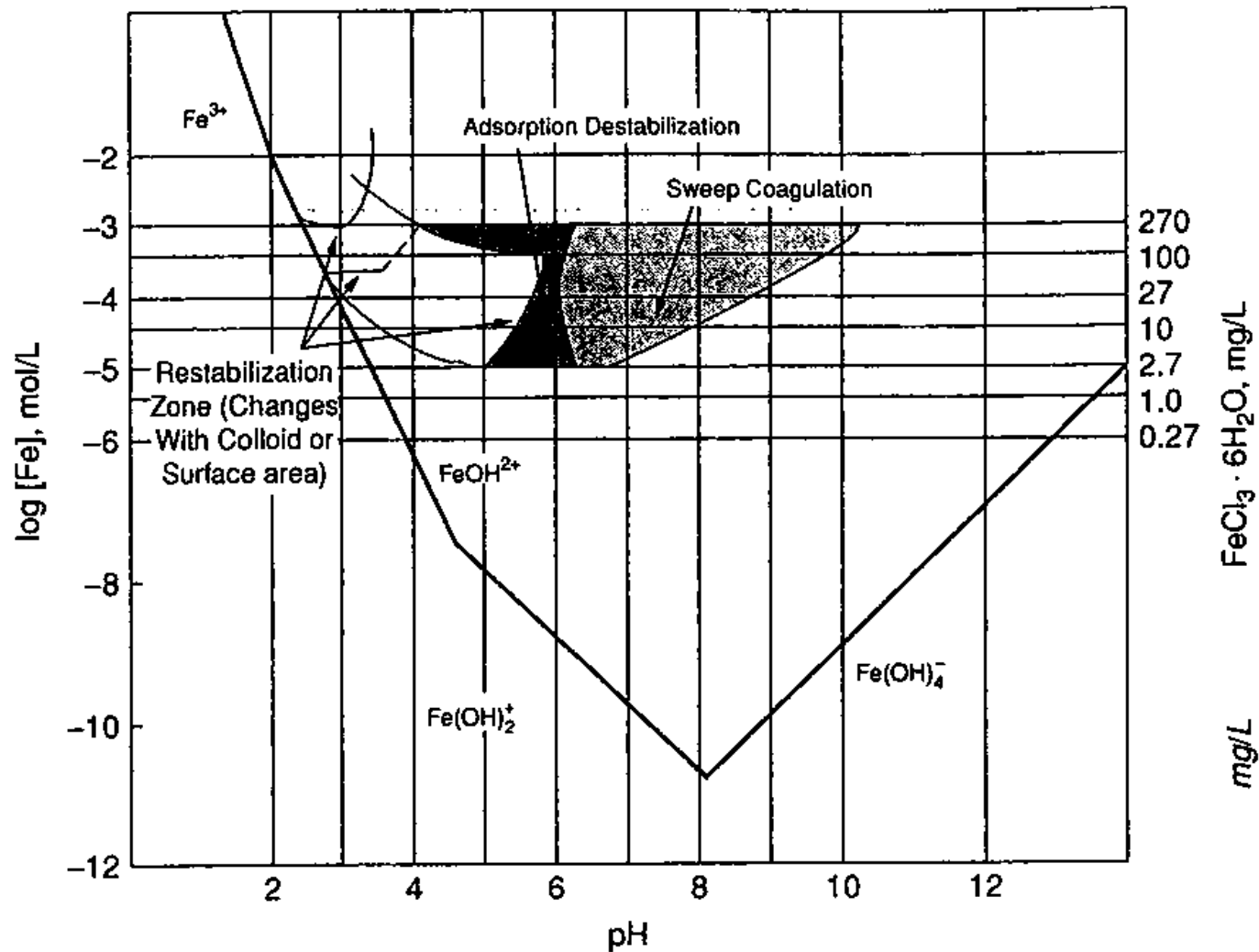
➡ 單體鋁(Al_a) 會水解進而消耗水中鹼度

疏水性顆粒之去穩定作用-鋁

$\text{Al}(\text{OH})_3$ precipitation & optimum sweep floc formation

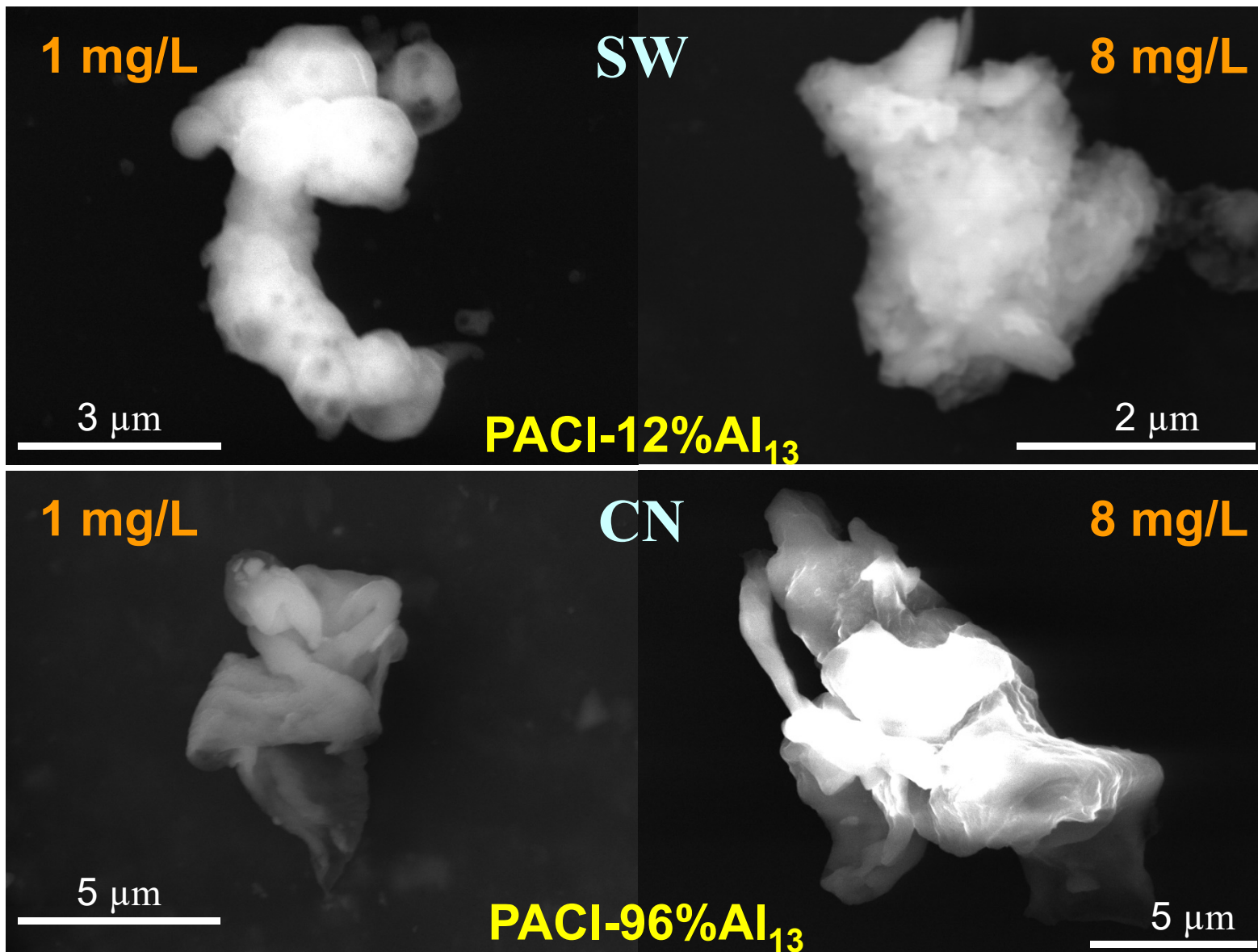


疏水性顆粒之去穩定作用-鐵

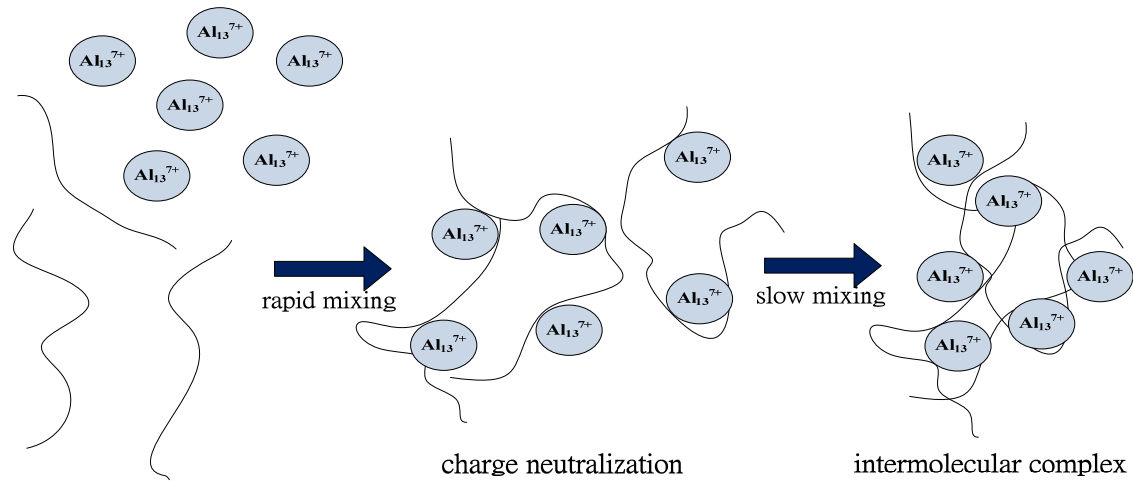


- 低劑量氯化鐵在pH 6或更高時初始混凝反應機制為沉澱掃除
- 低pH時主要藉由帶正電的氫氧化鐵物種之電性中和反應

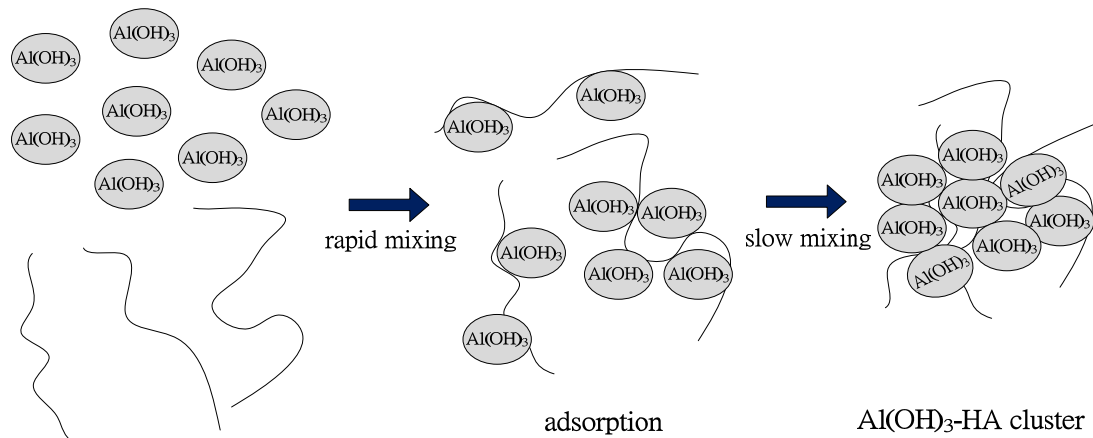
無機顆粒混凝



有機物混凝

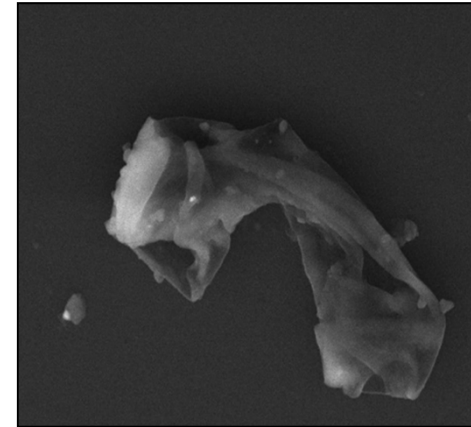


Al_{13}^{7+} : Al_{13} polycation : HA

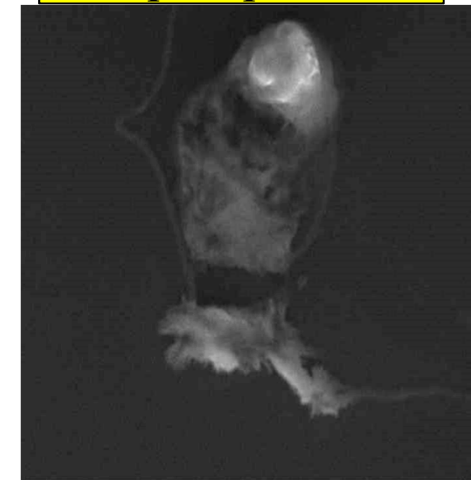


$\text{Al}(\text{OH})_3$: colloidal $\text{Al}(\text{OH})_3$: HA

Complexation



Coprecipitation



膠羽形成理論



膠羽(floc)是由於懸浮粒子互相碰撞而凝聚成長。

- # 膠羽 (floc) 是由於懸浮粒子互相碰撞而凝聚成長，Camp & Stein 提出粒子碰撞次數與水流之平均速度坡降 (velocity gradient) 成比例之膠羽形成基本理論式如下：

單位時間單位體積
中粒子碰撞次數

單位體積中粒子數

粒子直徑

$$N = \frac{4}{3} G d^3 n^2$$

平均速度坡降；若兩粒子移動之相對速度為 0.5 (m/sec)，距離為 0.01 (m)，則平均速度坡降 $G = 0.5 \div 0.01 = 50$ (1/sec)

- # G 值決定凝聚效果



平均速度坡降 G 值

- # 平均速度坡降 G 值為自攪拌設備傳送的動力。
- # G 值 (G-value) 在實際應用時可表為：

平均速度坡降 (1/sec)

池之輸入功率 (Watt) ; (Watt) = (kg · m²/sec³)

$$G = \sqrt{\frac{P}{V \cdot \mu}}$$

池體積 (m³)

水之黏性係數 (kg/m · sec)

快混池與慢混池



混凝劑加入水中後，應經混合池，將其快速擴散於水中。
經加藥混合之原水，應經膠凝池使膠羽形成增大。

1. 快混池之設備

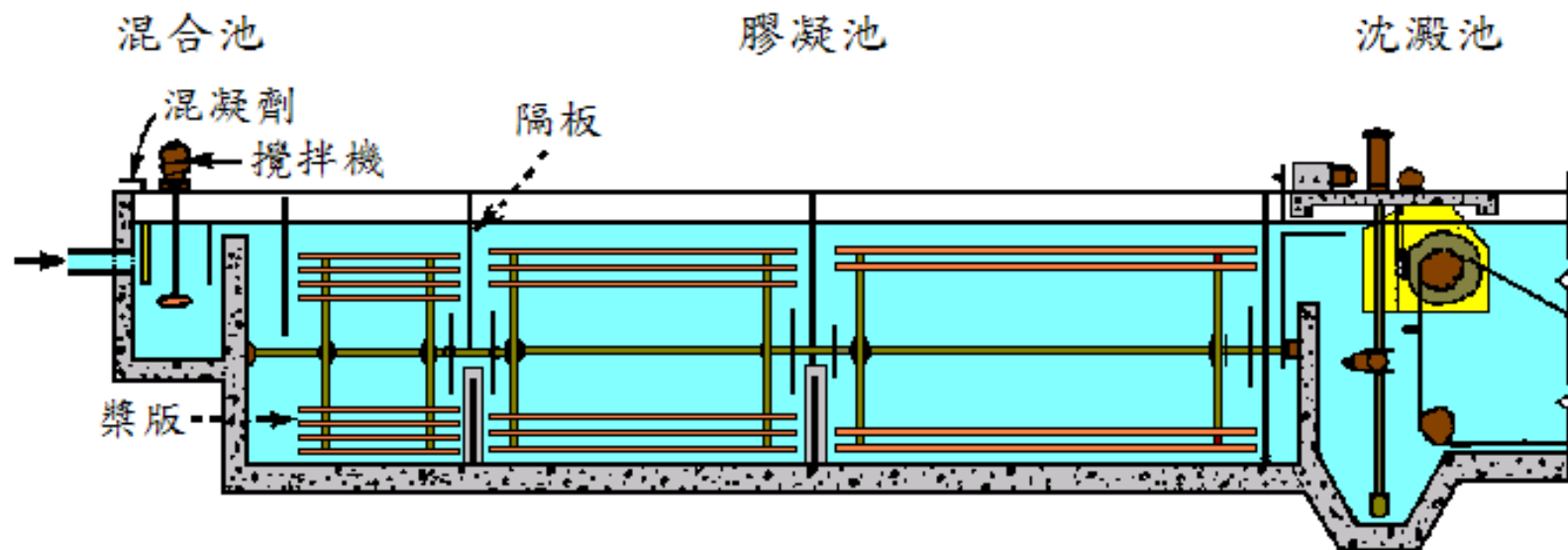
- # 混凝劑加入水中後，應經混合設備，將其快速擴散於水中。
- # 混合之方法通常使用拌合機或利用水流沖合等得到快速之攪拌。



快混池（水躍池）

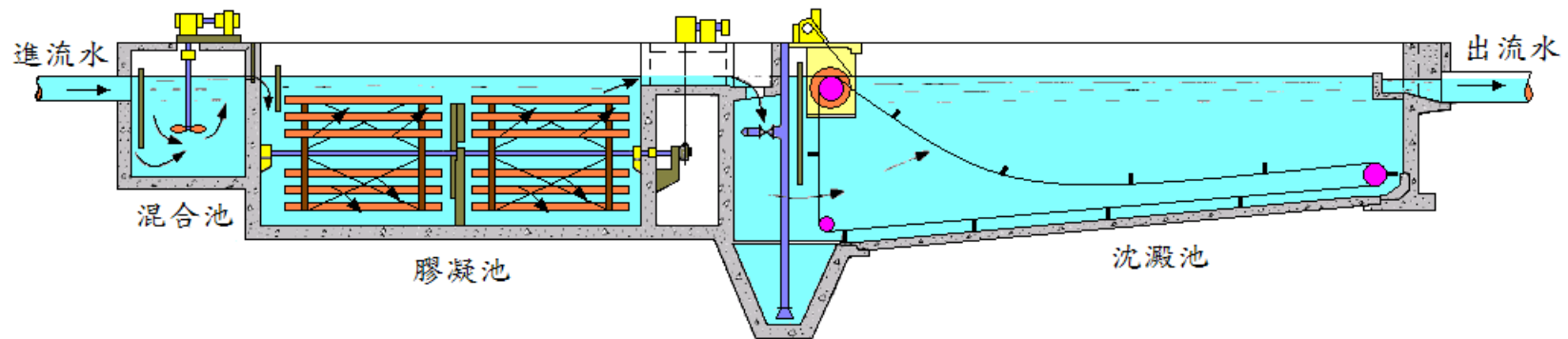
1. 快混池之設備

- ✧ 混合時間應在30秒鐘以上。
- ✧ 混合池通常以鋼筋混凝土造之方形池，並應儘量與膠凝池相連。



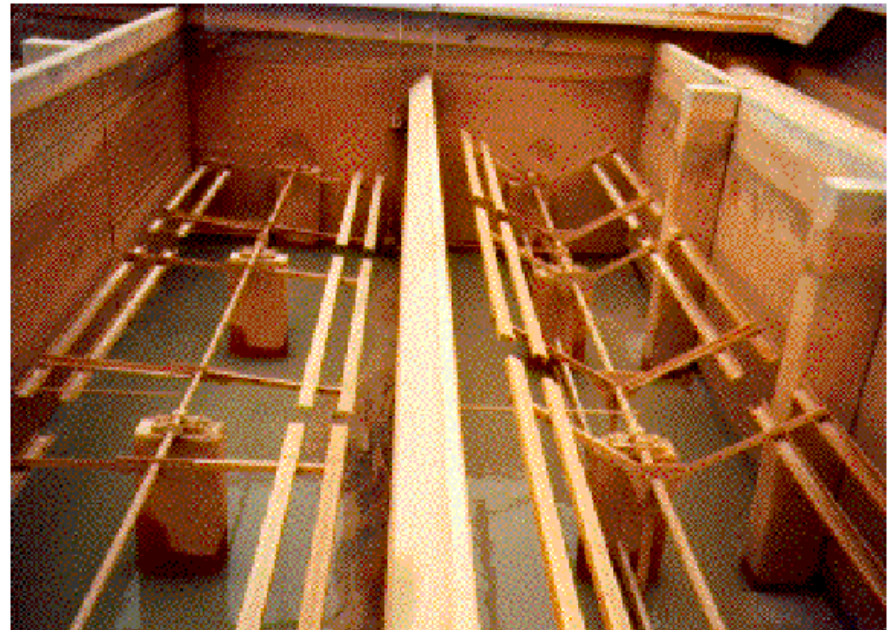
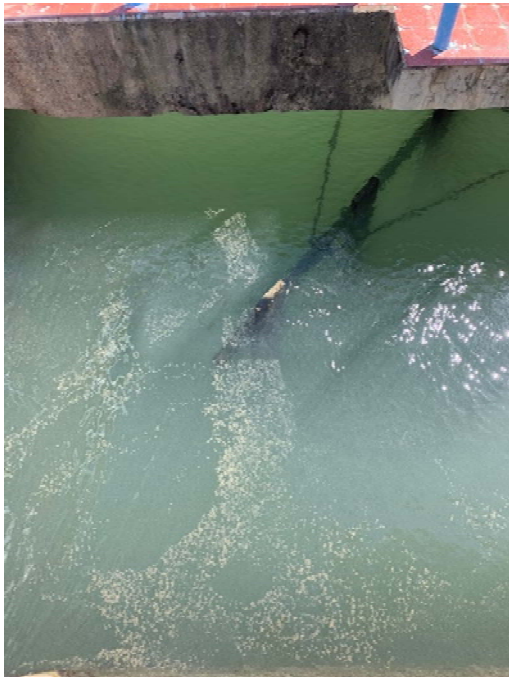
2. 膠凝(慢混)池之設備

- # 經加藥混合之原水，應經膠凝池使膠羽形成增大。
- # 膠凝池通常以鋼筋混凝土建造，應儘量與混合池、沉澱池連在一起。
- # 膠凝時間應以30分鐘為度。



膠凝(慢混)池之設備

- # 當利用機械膠凝時，膠羽機之翼板通常佔池斷面積之 15 %至 25 %，其槳板末端速度應在 15 cm/sec至 95 cm/sec範圍內。
- # 與沉澱池間之管渠以及沉澱池進口處之流速，應維持在 15 cm/sec至 50 cm/sec範圍內。



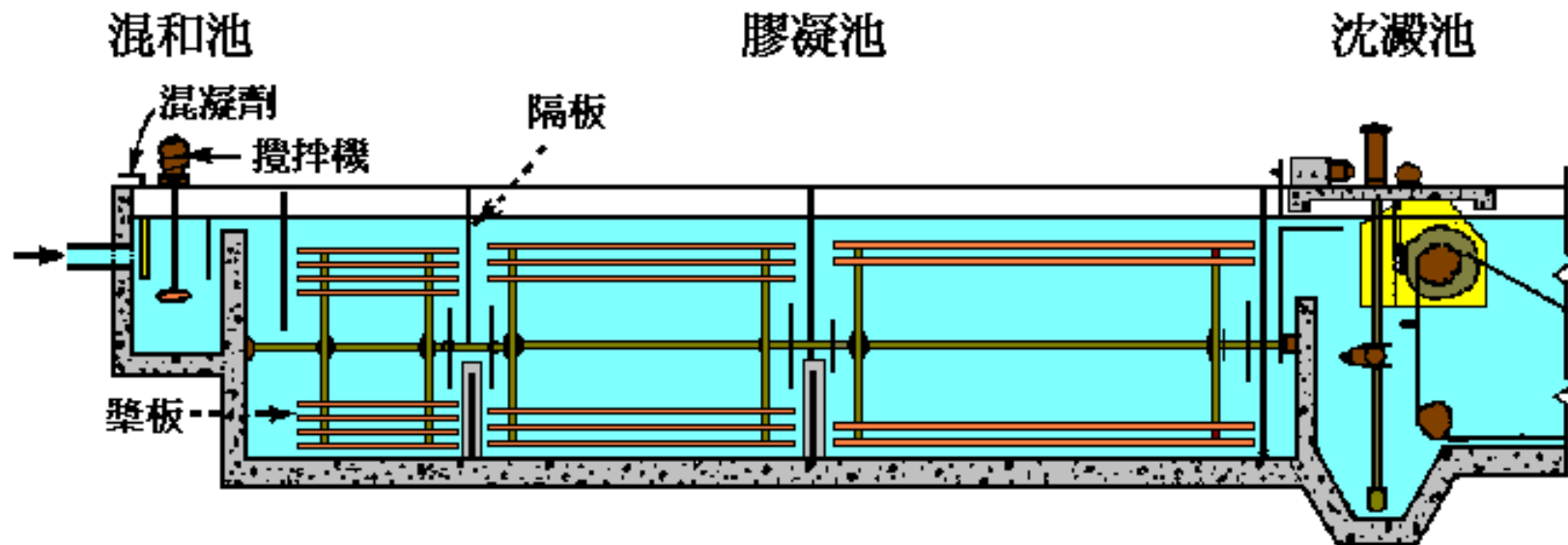
3. 快混池、膠凝池設計參數

快混池設計值

- 停留時間 $t=0.5\sim 2$ (min)
- $G=300\sim 1,000$ (1/sec)
- $Gt=9,000\sim 28,000$

膠凝池設計值

- 停留時間 $t=30\sim 45$ (min)
- $G=30\sim 60$ (1/sec)
- $Gt=23,000\sim 210,000$



機械膠凝效果

✦ 一般設計膠凝池時 G 值以漸減 (tapered-flocculation) 之方式，對進流端提供較大之混合，使膠羽結合變大，對出流端減少混合剪力，以期獲清澄之處理水。

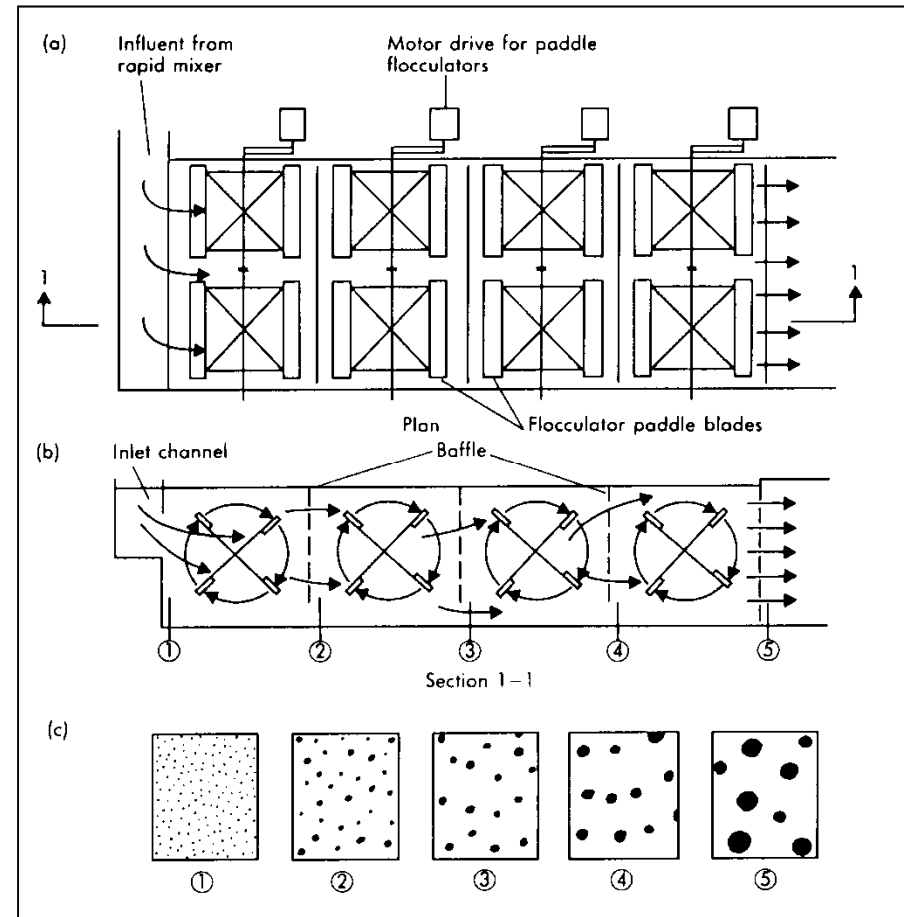
✦ 例如

■ 四段時 G 值可採

60, 50, 30, 20

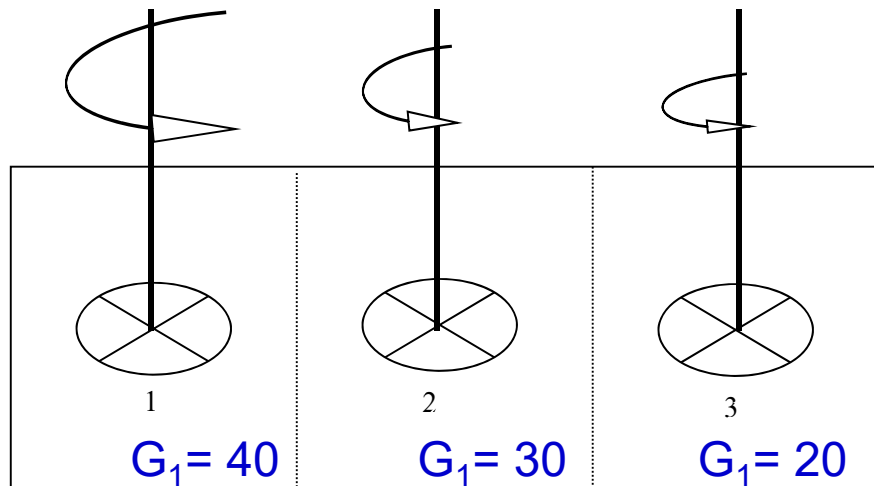
■ 三段時 G 值可採

90, 70, 40



膠凝操作之關鍵問題

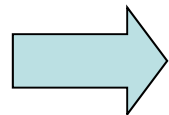
- 水處理操作中，多數絮凝單元采紊流混合條件
- 於紊流條件下，速度坡降(G)之定義非適當
- 於膠凝槽之設計， Gt 一般常做為設計參數，典型膠凝之 Gt 值為 $2 \times 10^4 \sim 10^5$
- G 值大與 T 值小產生膠羽較小且密實
- G 值小與 T 值大產生大膠羽但鬆散



密實膠羽

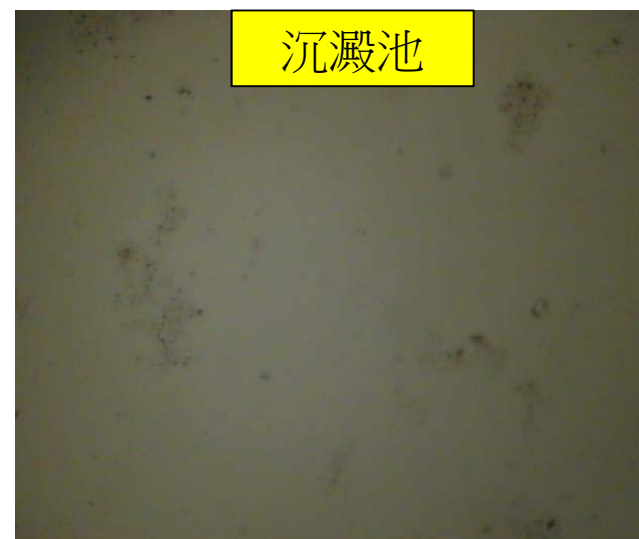
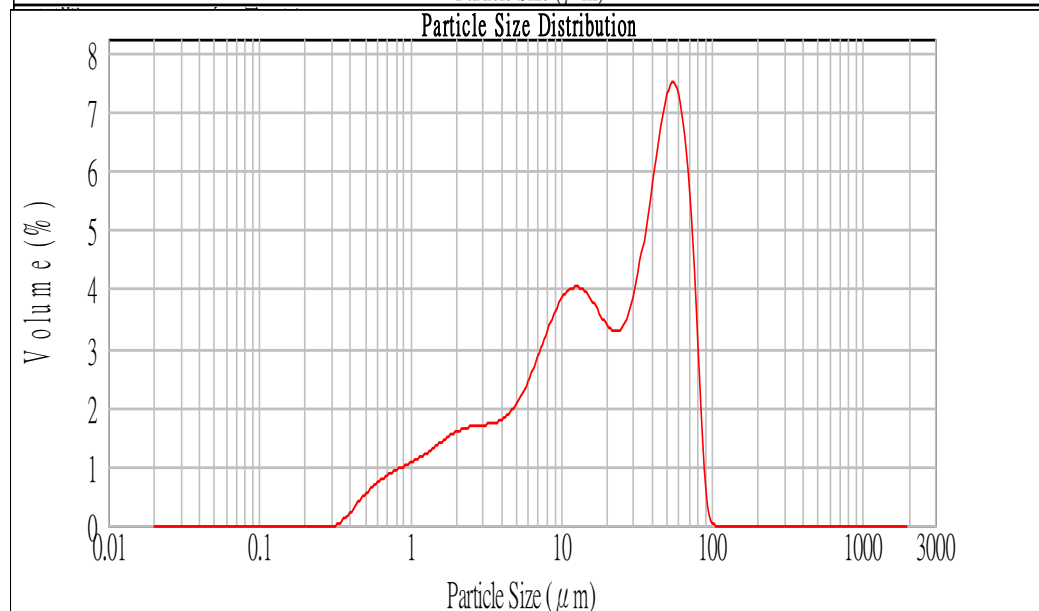
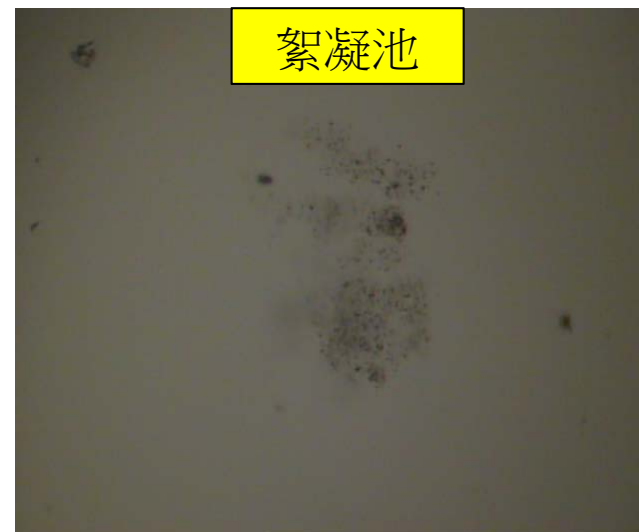
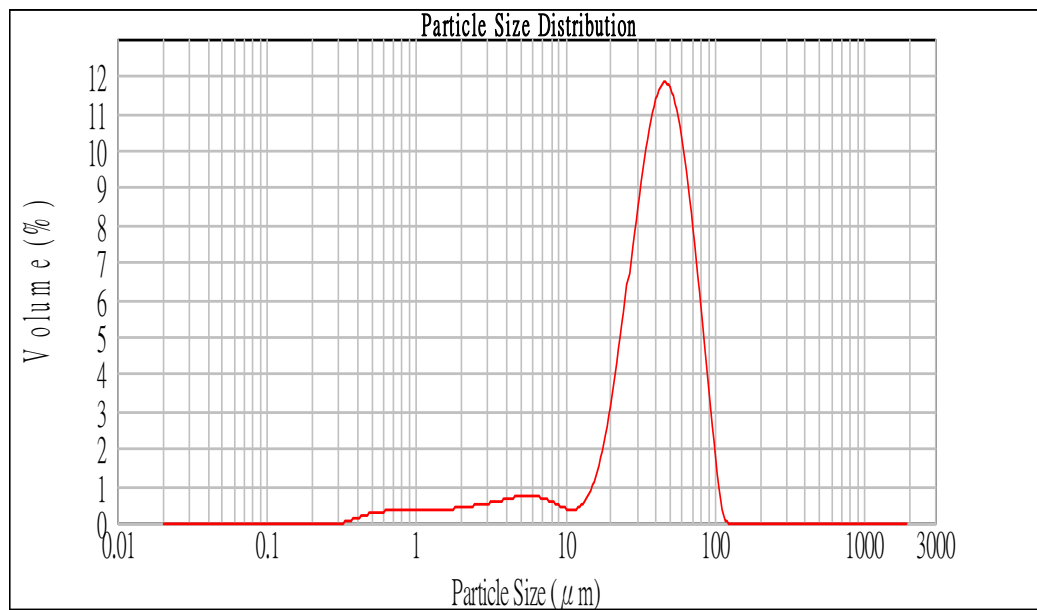


鬆散膠羽



膠羽大小及密實度影響其沉降性

膠羽破碎



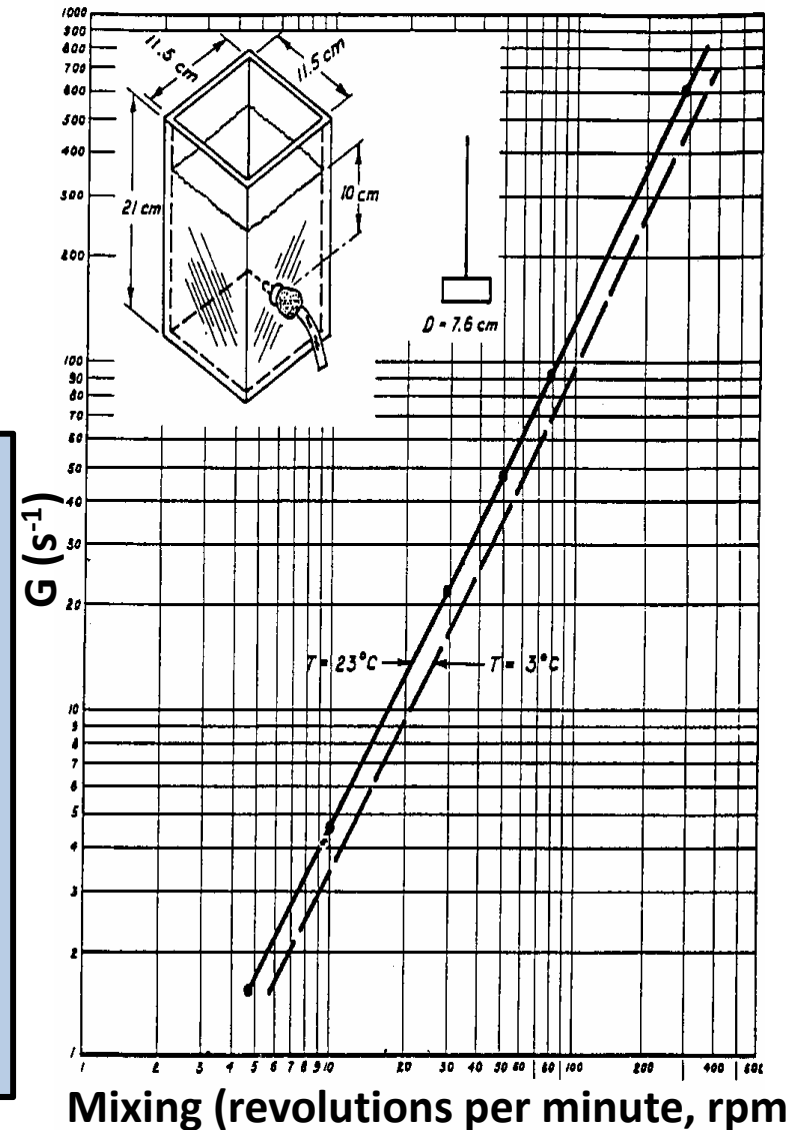
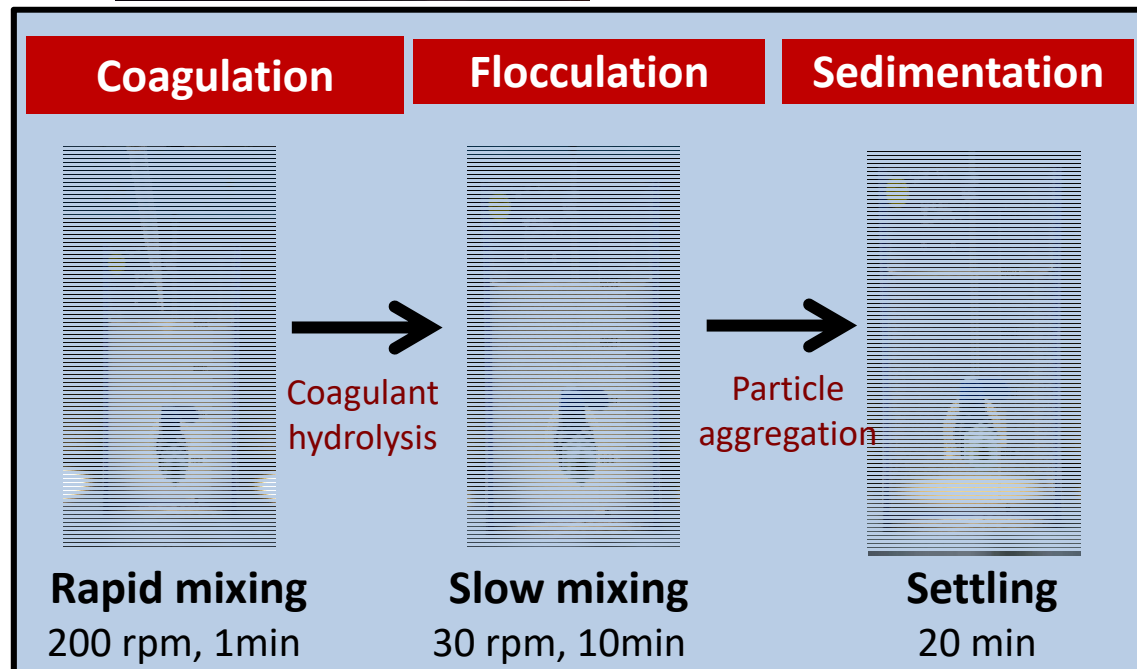
瓶杯試驗(Jar Test)



Chemicals

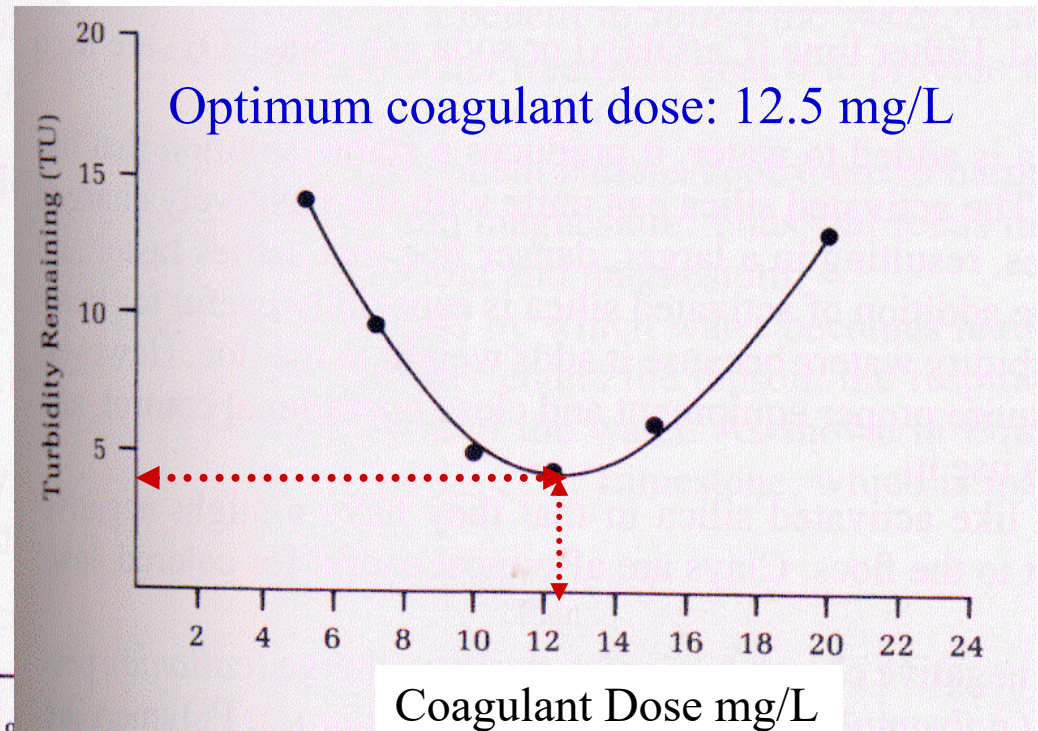
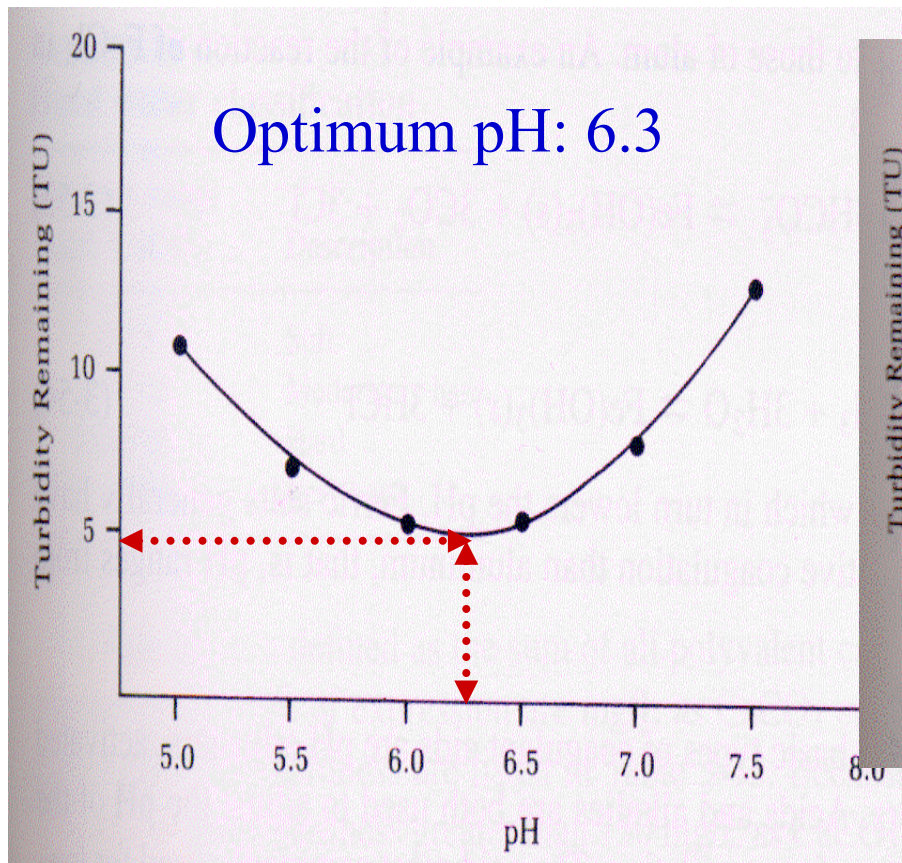
Dosages

pH

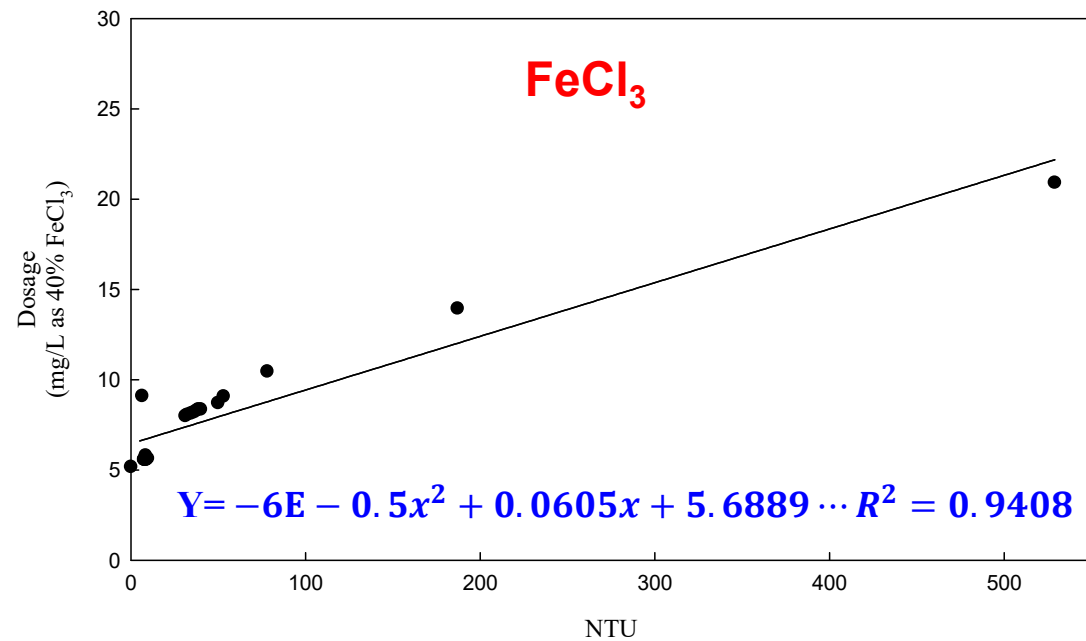
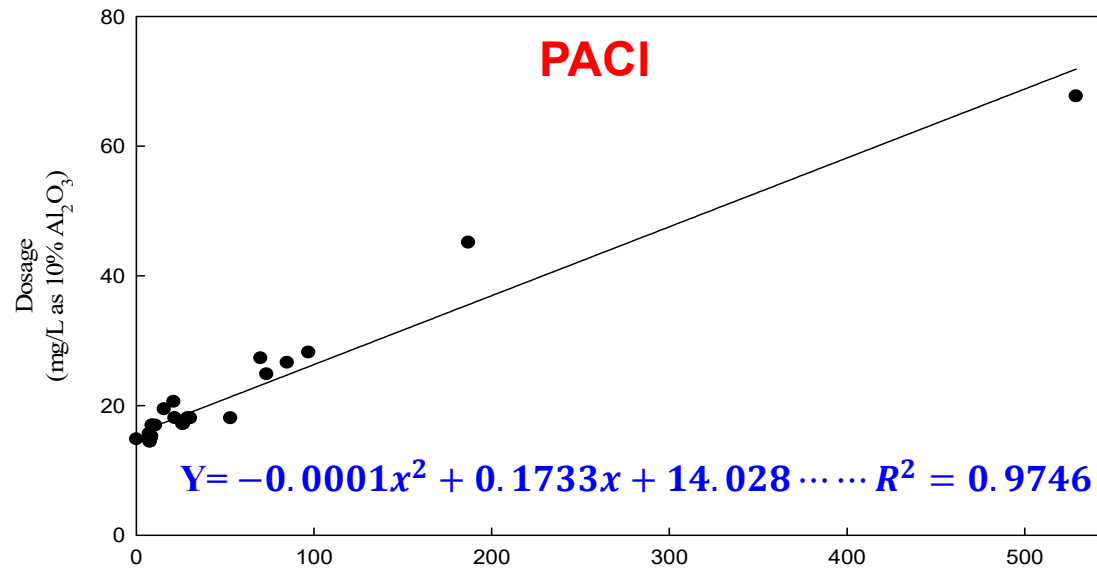


混凝效能評估

- 最佳pH值可獲得最低殘餘濁度
- 最佳混凝劑加藥量為可獲得最低殘餘濁度



混凝加藥經驗曲線



淨水程序



混凝劑種類	混沉除濁特性	文獻
明礬 聚氯化鋁 (Alum或PACl)	▶ 膠羽較輕—在高加藥量下才會產生 ▶ 水中殘餘鋁會使混沉效果變差	Jun <i>et al.</i> (2001) Jiang <i>et al.</i> (1993)
鐵鹽 (FeCl ₃)	▶ 膠羽生成快速且密實 ▶ 膠羽細小 ▶ 殘餘亞鐵增加色度	Laplanche <i>et al.</i> (1994)
聚矽酸鐵 (PSI)	▶ 膠羽較大且密實度高 ▶ 除藻、除濁效果佳	Wang <i>et al.</i> (2002)

混凝劑加藥控制為淨水處理效能提升之關鍵

PACl 混凝劑成分特性

傳統淨水場混凝劑(PACl-W)		高效能混凝劑(PACl-C)	
項目	數值	項目	數值
氧化鋁(Al_2O_3)	10.05 %	氧化鋁(Al_2O_3)	10.51 %
比重(20°C)	1.2	比重(25°C)	1.2
鹼度	47.45 %	鹼度	60.23%
硫酸根離子	1.01 %	硫酸根離子	2.91 %
pH值(1w/v%)	4.06	pH值(1w/v%)	4.06
單體鋁(Al_a)	40 %	單體鋁(Al_a)	30 %
聚合鋁(Al_b)	25 %	聚合鋁(Al_b)	20 %
膠體鋁(Al_c)	35 %	膠體鋁(Al_c)	50 %

高效能PACl實場混凝加藥效能

混凝劑	粒徑 (μm)	膠羽影像
龍潭PACl (PACl-L)	85.8	
高效能PACl (PACl-C)	122.5	

註:原水濁度:2.77~3.07 NTU



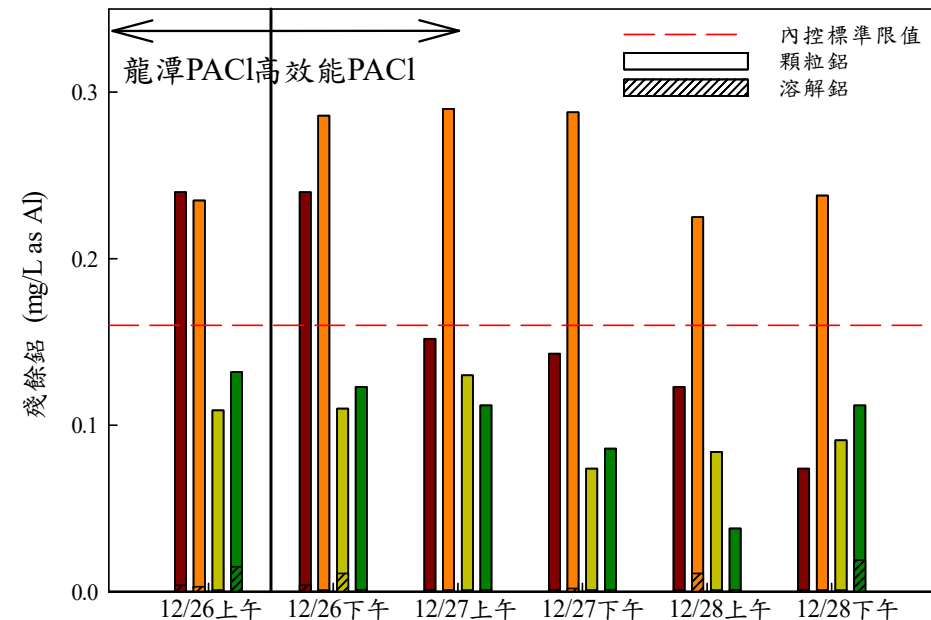
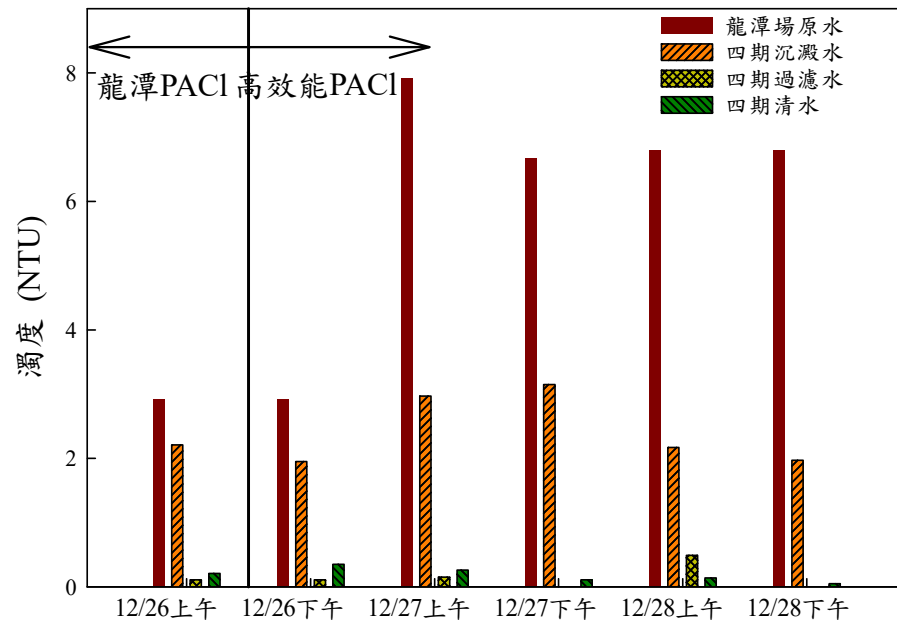
FlocCAM

➡ 使用高效能PACl混凝劑會使混凝膠羽顆粒變大

實場混凝加藥效能評估-高效能PACl

石門淨水場串昌PACl混凝劑		中華化學高效能PACl混凝劑	
單體鋁(Al_a)	40 %	單體鋁(Al_a)	30 %
聚合鋁(Al_b)	25 %	聚合鋁(Al_b)	20 %
膠體鋁(Al_c)	35 %	膠體鋁(Al_c)	50 %

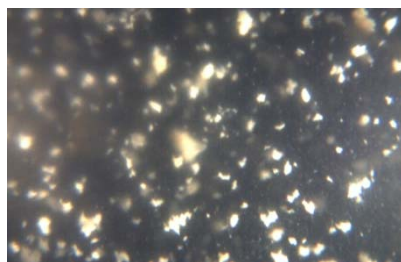
PACl加藥量: 8 mg/L as 10% Al_2O_3



使用高效能PACl混凝劑處理低濁水，清水濁度及殘餘總鋁可維持在內控標準限值內

高效能PACl混凝膠羽粒徑及外觀

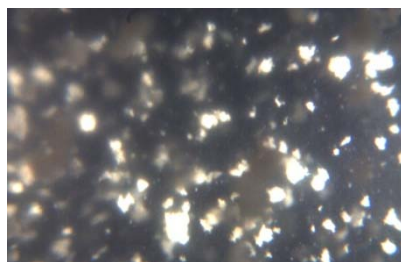
高效能 PACl
1 mg/L
(482 μ m)



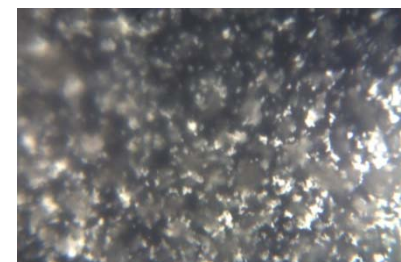
傳統 PACl
1 mg/L
(302 μ m)



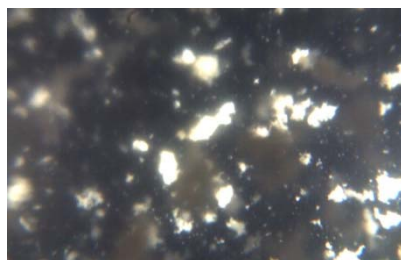
高效能 PACl
2 mg/L
(627 μ m)



傳統 PACl
2 mg/L
(333 μ m)



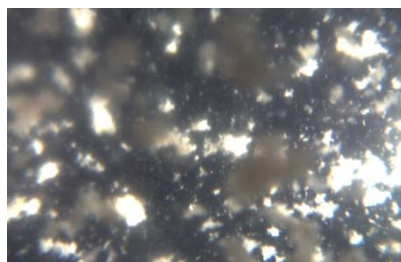
高效能 PACl
3 mg/L
(595 μ m)



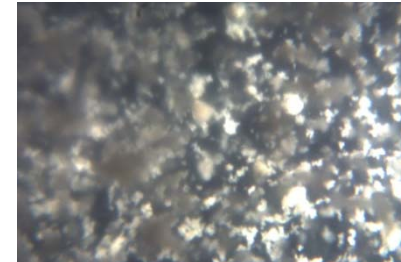
傳統 PACl
3 mg/L
(340 μ m)



高效能 PACl
3 mg/L
+
polymer 0.1 mg/L
(422 μ m)

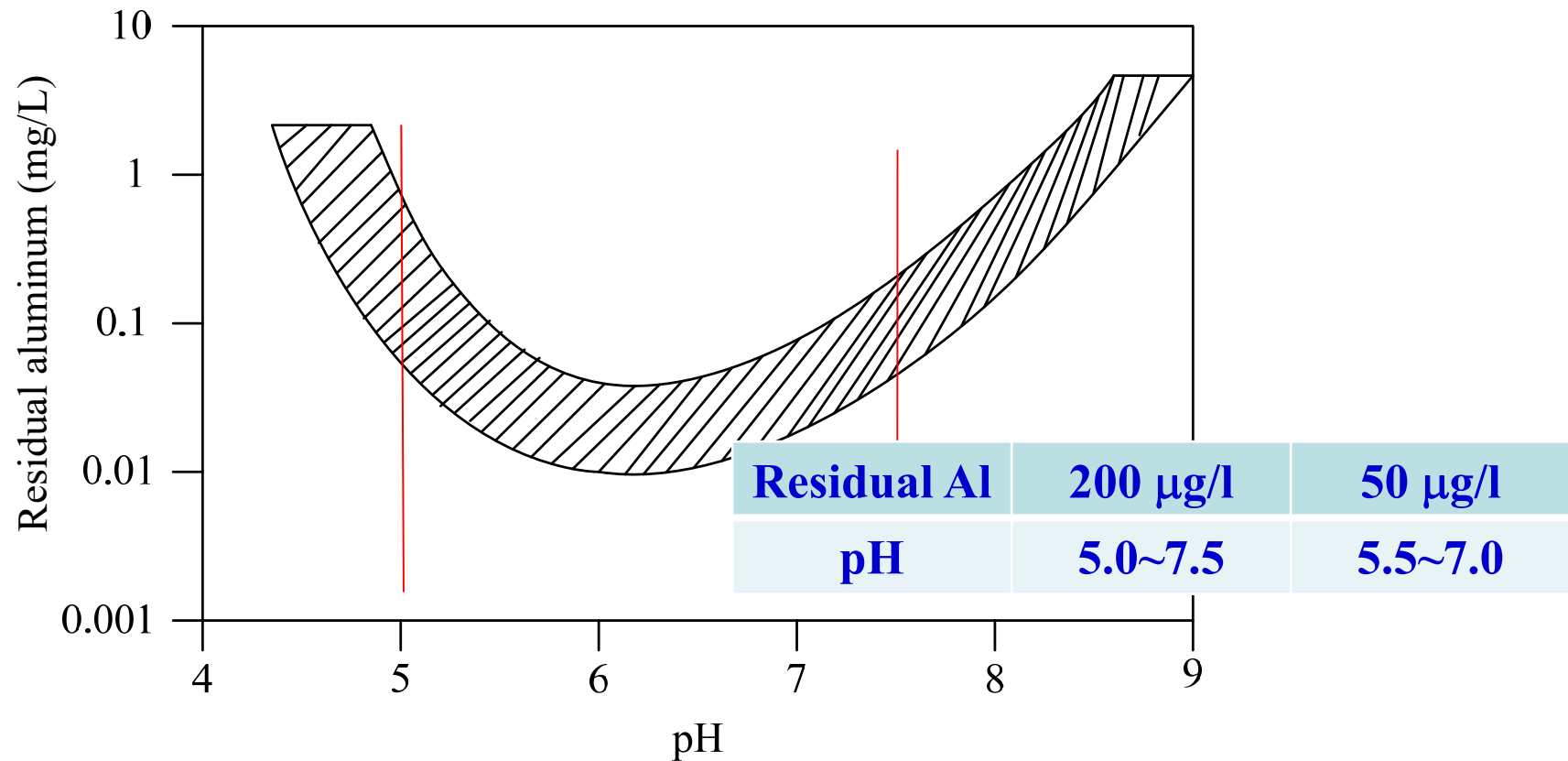


傳統 PACl
3 mg/L
+
polymer 0.1 mg/L
(406 μ m)



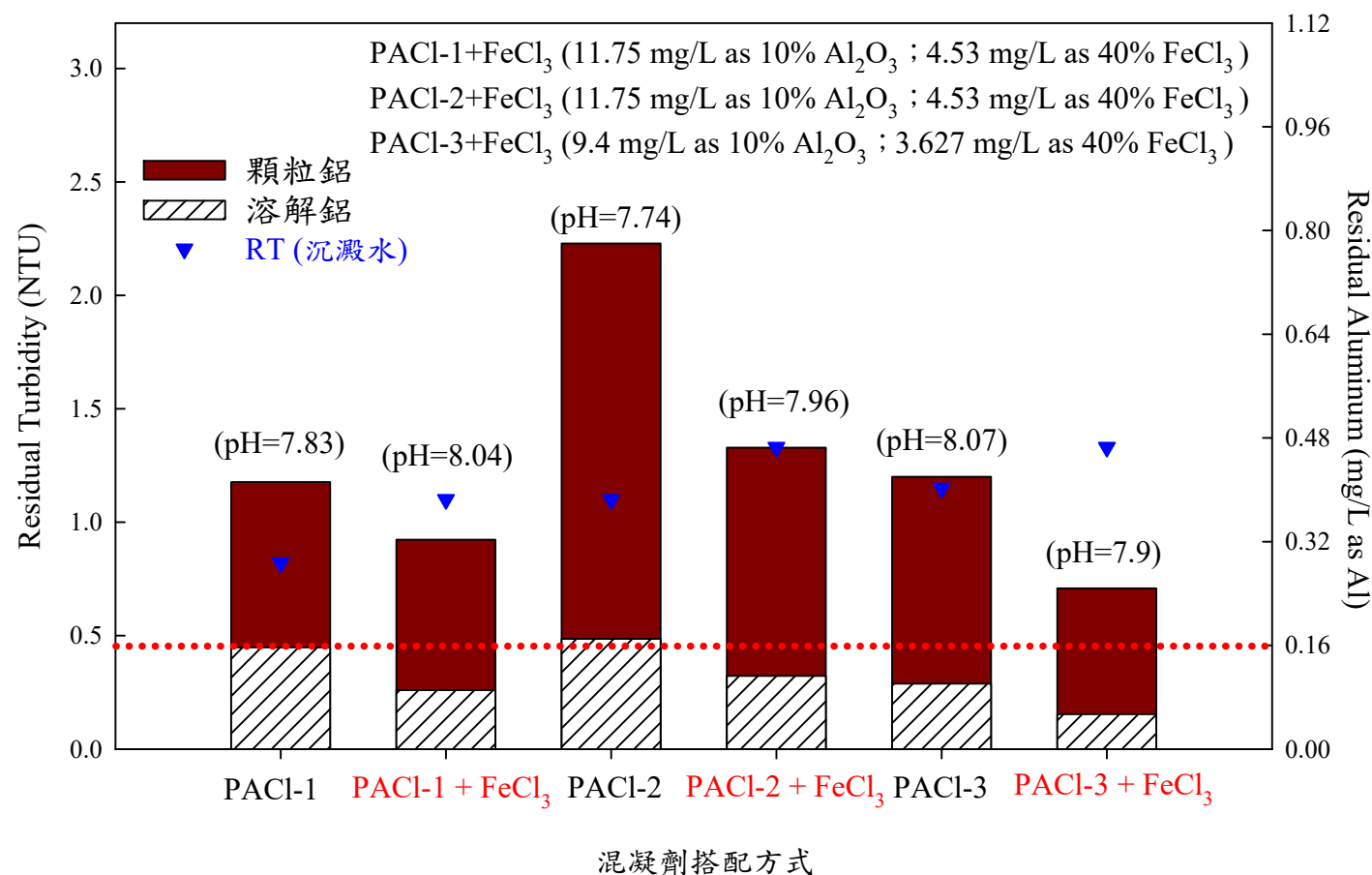
清水殘餘鋁控制

殘餘鋁鹽濃度受硫酸鹽、砂土、氟、正磷酸鹽、腐植物質等影響

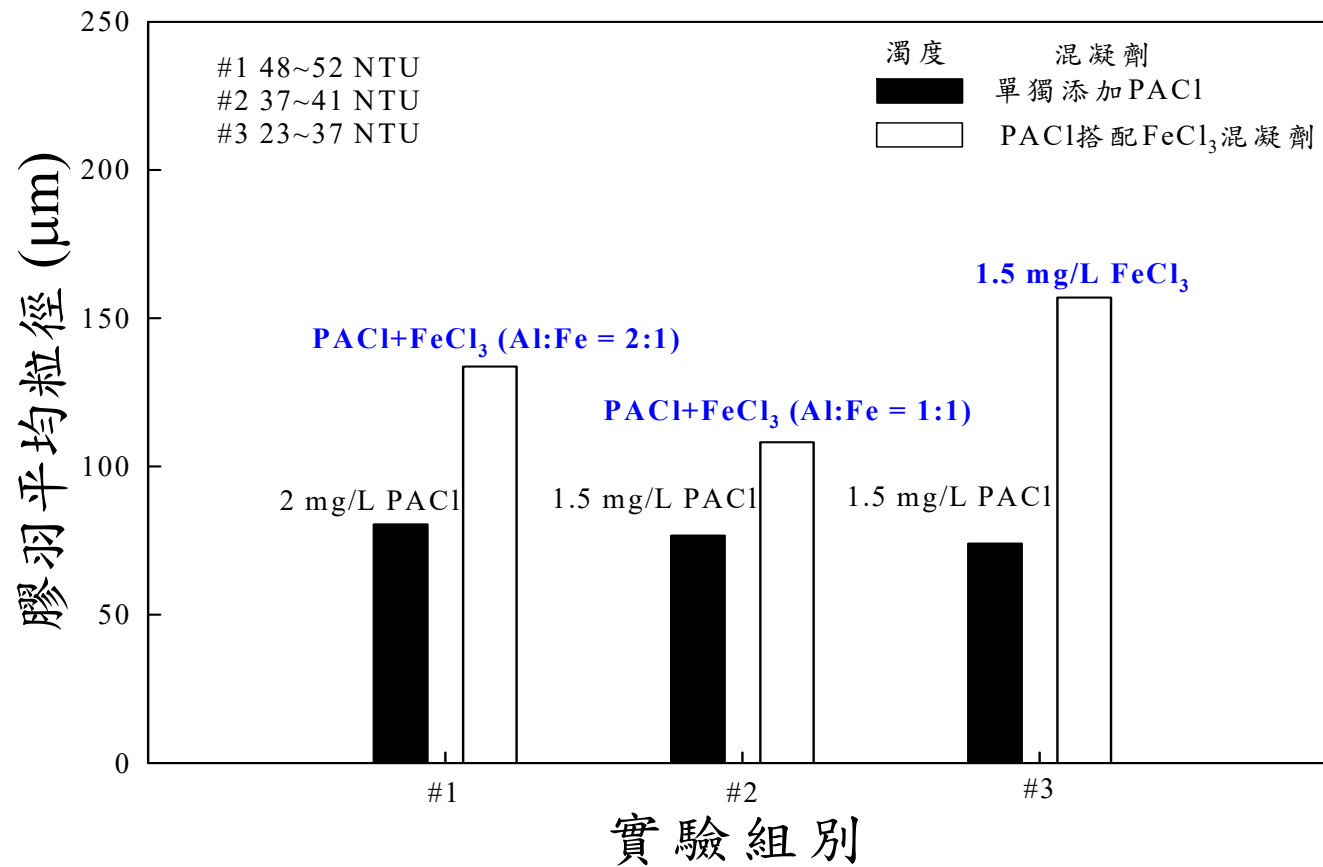


Residual Al = Soluble Al(III) + Al-organic complex + Al(OH)₃ colloids + Al(OH)₃ floc fragment

PACl搭配FeCl₃混凝劑之混凝加藥效能

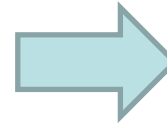
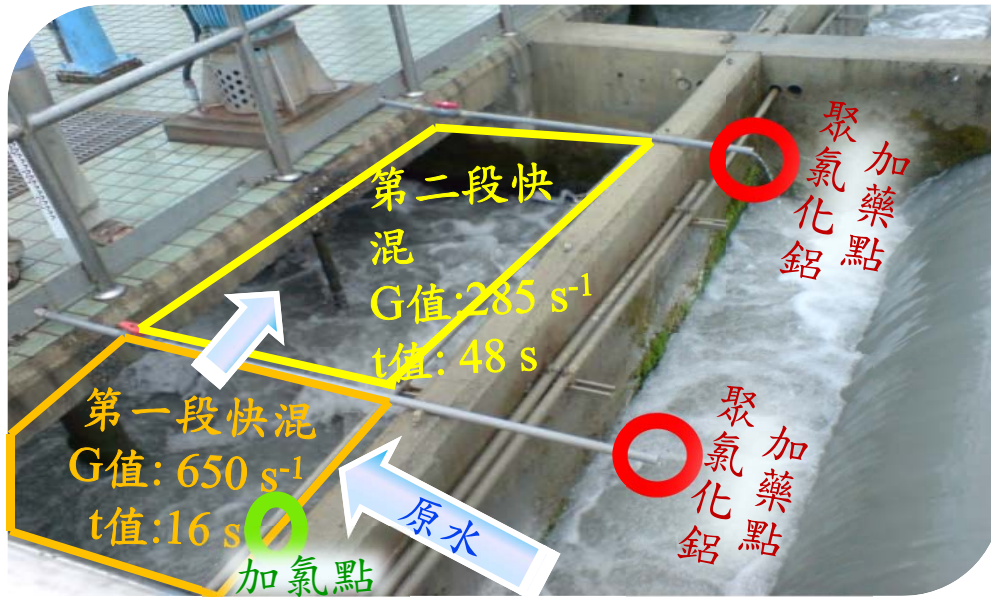


PACl搭配FeCl₃混凝加藥(Al : Fe= 1 : 1)可有效降低混沉上澄液殘餘鋁量，且其溶解鋁含量低於內控標準



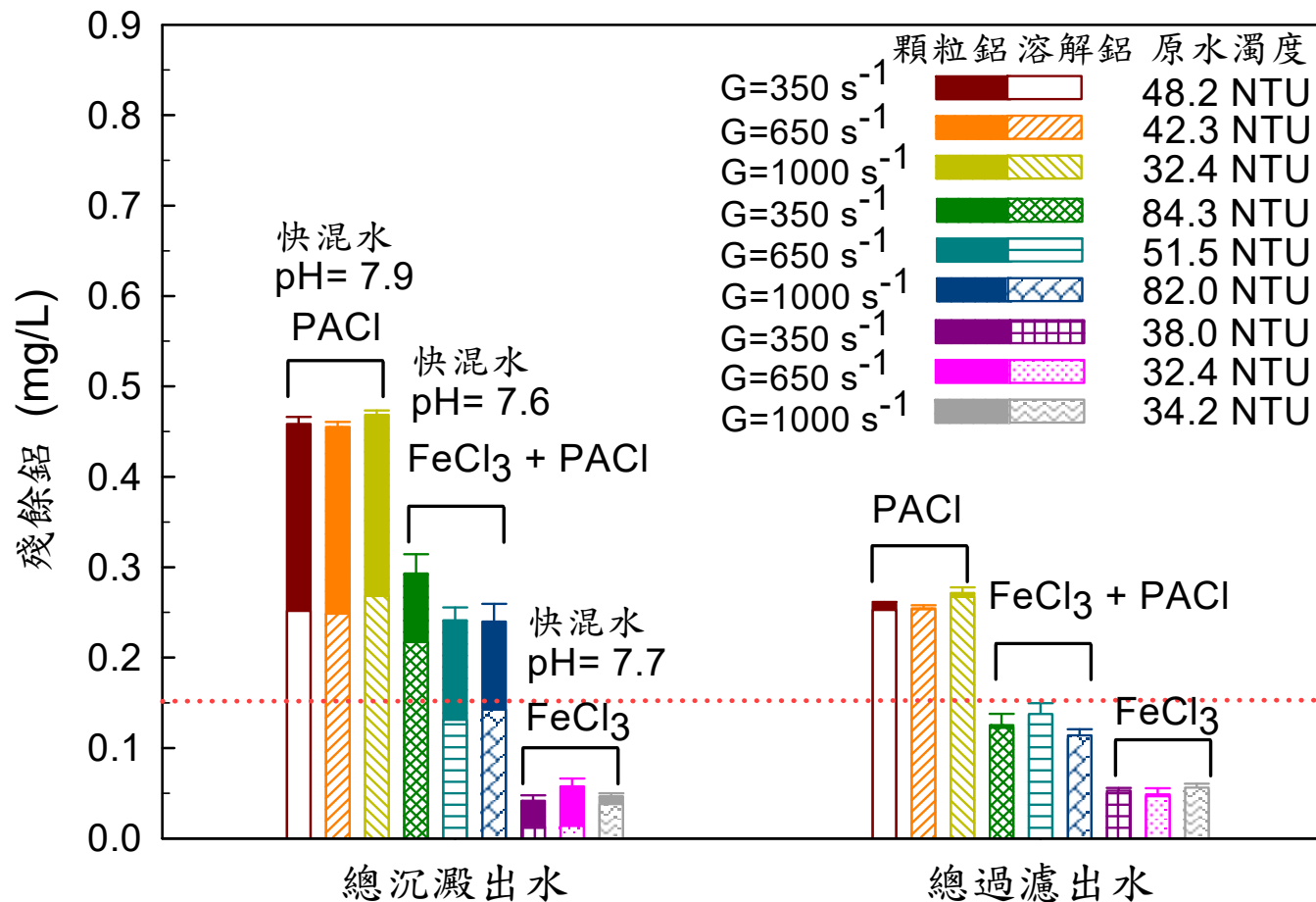
➡ 部分FeCl₃混凝劑取代PACl混凝劑可形成大粒徑之膠羽

FeCl₃搭配PACl混凝加藥



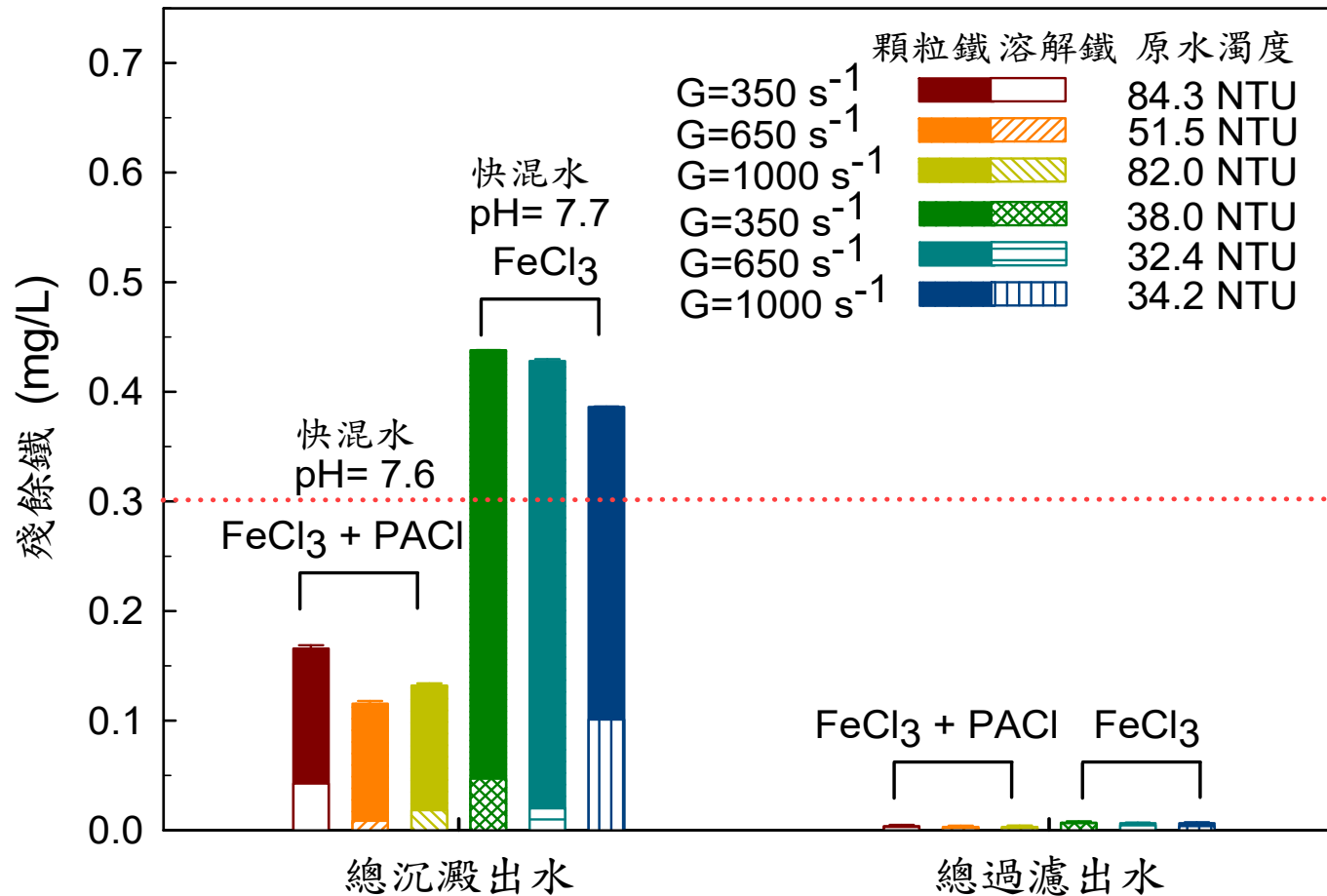
- 淨水場採用兩階段快混
- 於分水井先添加氯化鐵(FeCl₃)再加PACl
- 加氯點移至聚氯化鋁(PACl)加藥點後

FeCl₃搭配PACl混凝沉澱水及過濾水之殘餘鋁



- 原始PACl加藥劑量：39 mg/L as 10% Al₂O₃
- FeCl₃及PACl搭配劑量：19.8 mg/L as 10% Al₂O₃；16.8 mg/L as 38% FeCl₃
- FeCl₃劑量：33.6 mg/L as 38% FeCl₃

FeCl₃搭配PACl混凝沉澱水及過濾水之殘餘鐵



實場混凝加藥效能評估- FeCl_3



快混池



沉澱池



濾池(使用 FeCl_3 前)



濾池(使用 FeCl_3 後)

- 原水濁度 <2 NTU條件下，使用 FeCl_3 混凝劑後，沉澱池及濾池皆無出現明顯變色情形(鉑鈷色度 <1)

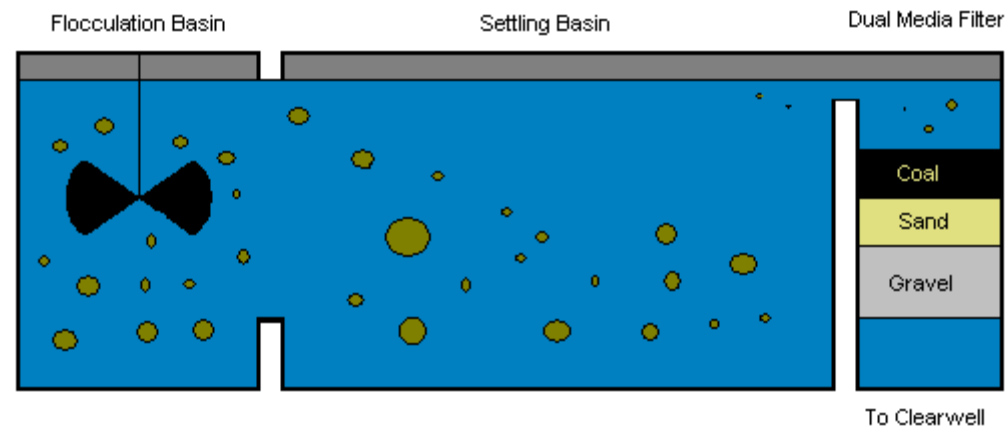
沉澱單元操作原理



沉澱池

- 沉澱池

- 以緩慢流速使水中之懸浮物質沉下之水池
- 係比重較水為大之懸浮固體物以重力方式自然下沉之水池

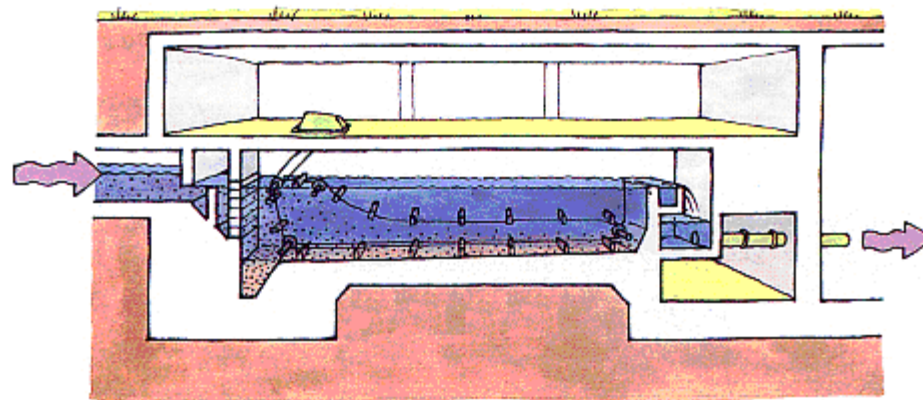


- Settling Basin Animation

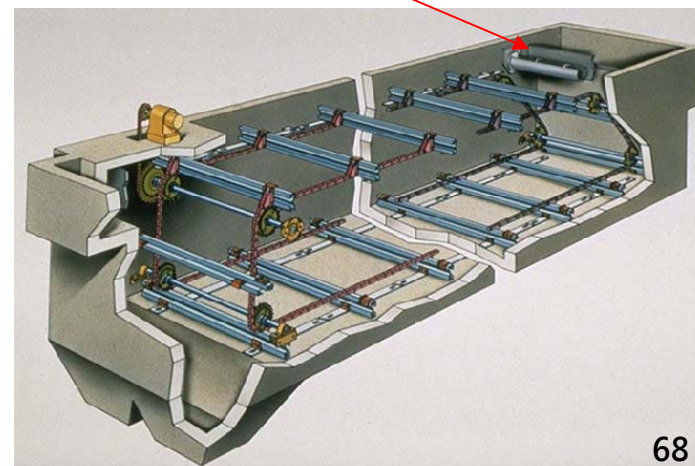
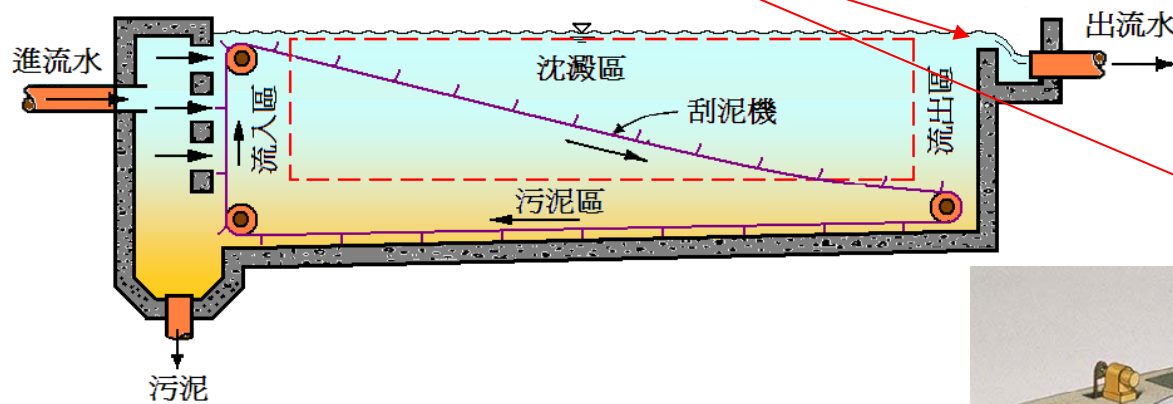
沉澱池



長方形沉澱池

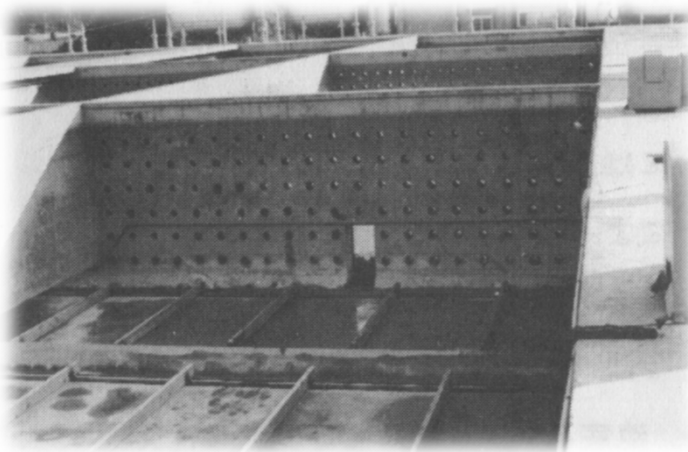
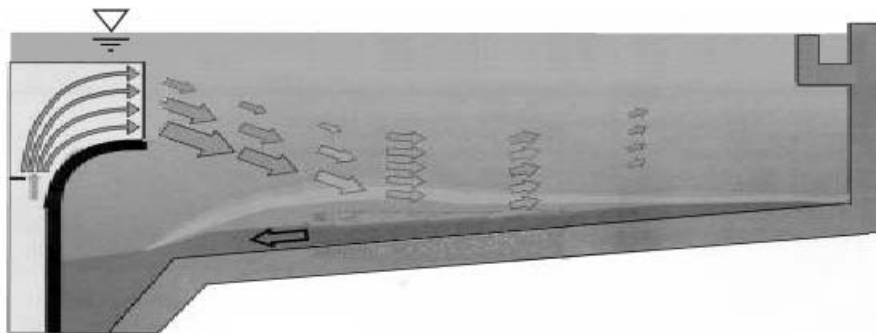


清澄水溢流



整流設備

- 整流設備
 - 使水流流速均勻、流向一致之設備
- 整流牆



溢流堰

- 溢流堰

- 一結構物或設備能使水溢流而過之設施



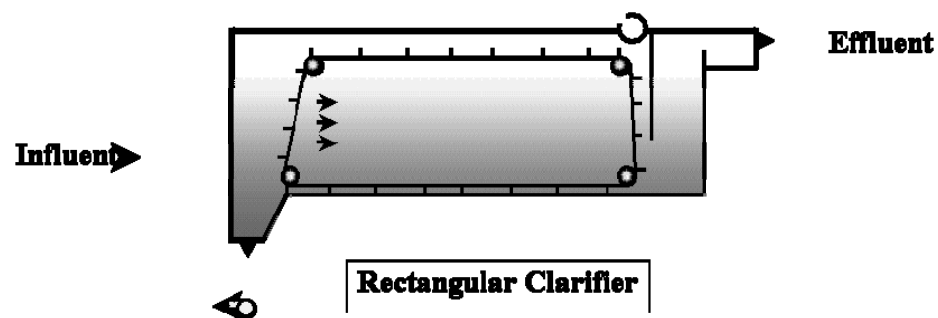
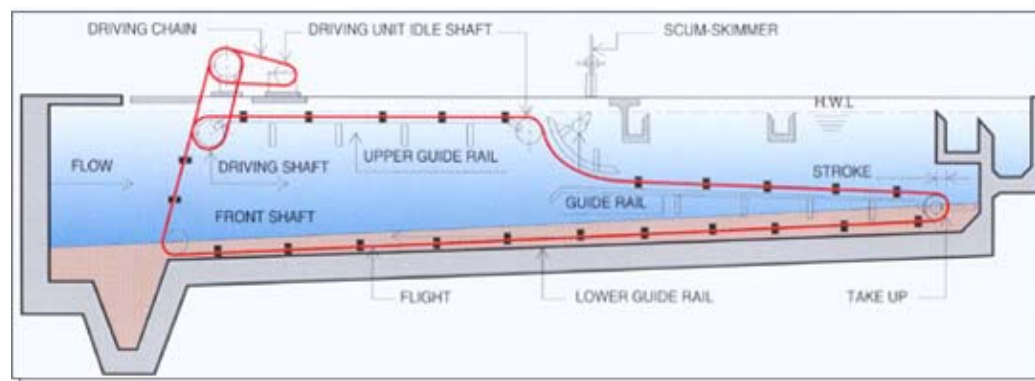
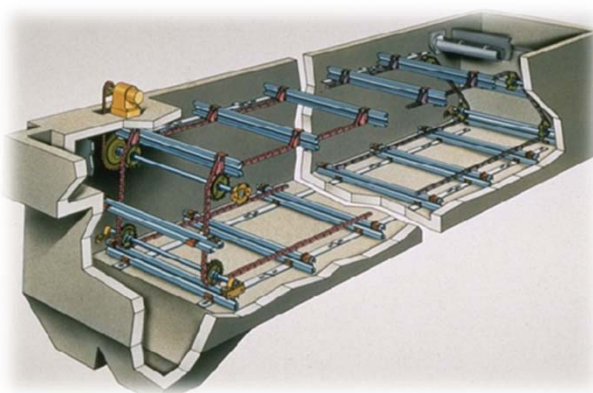
溢流堰



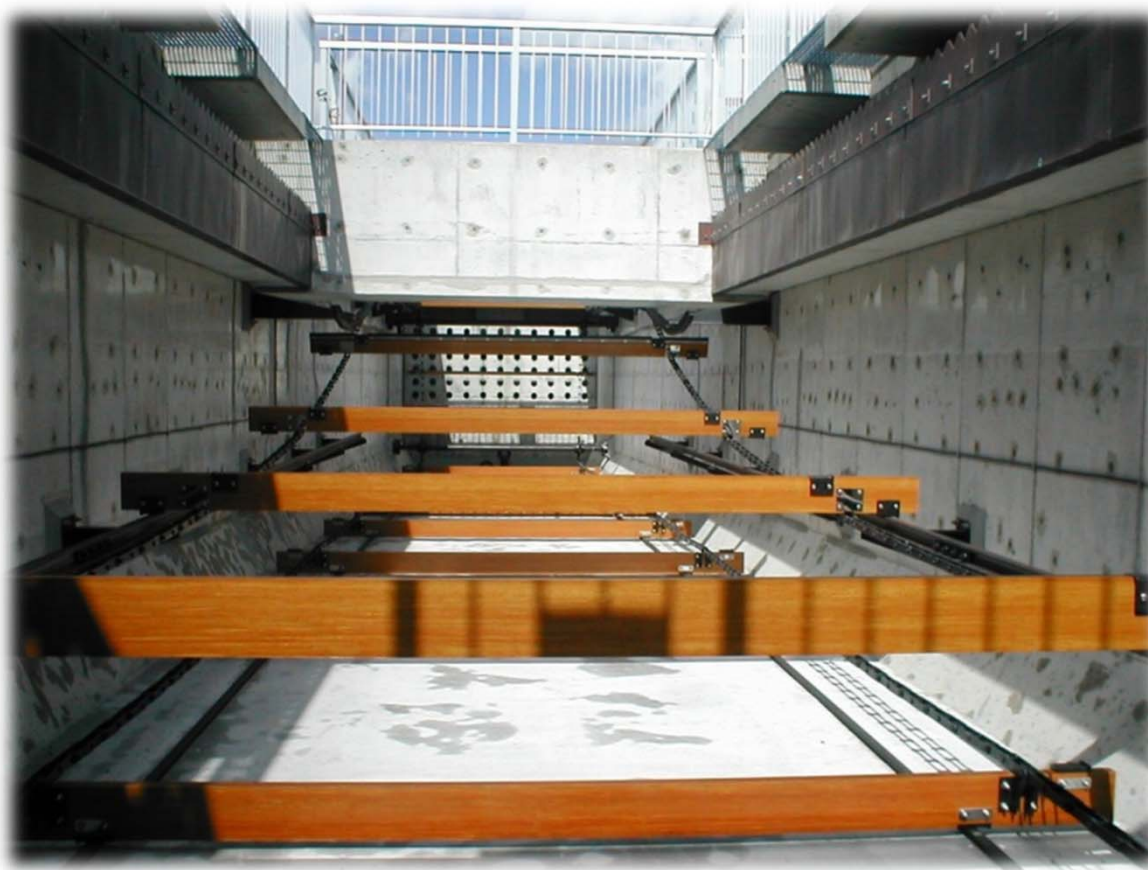
刮泥機

- 刮泥機

- 指刮集沉澱池等之沉積物於排出口的機械



刮泥機



吸泥機

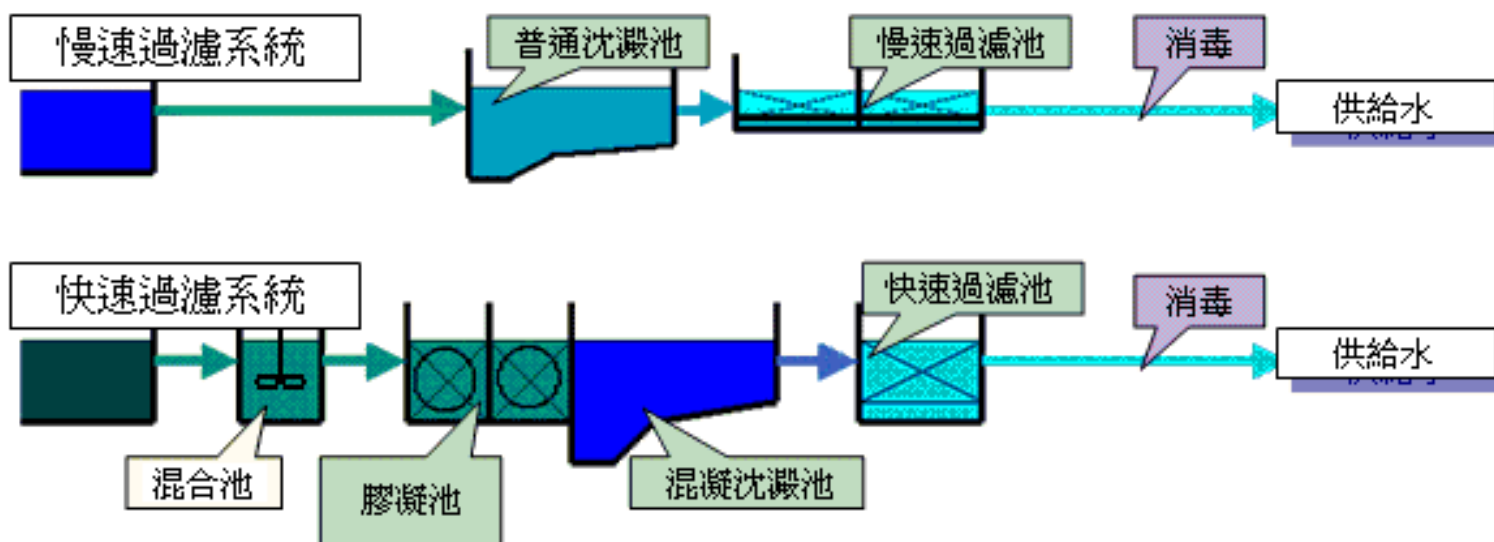


普通沉澱與混凝沉澱

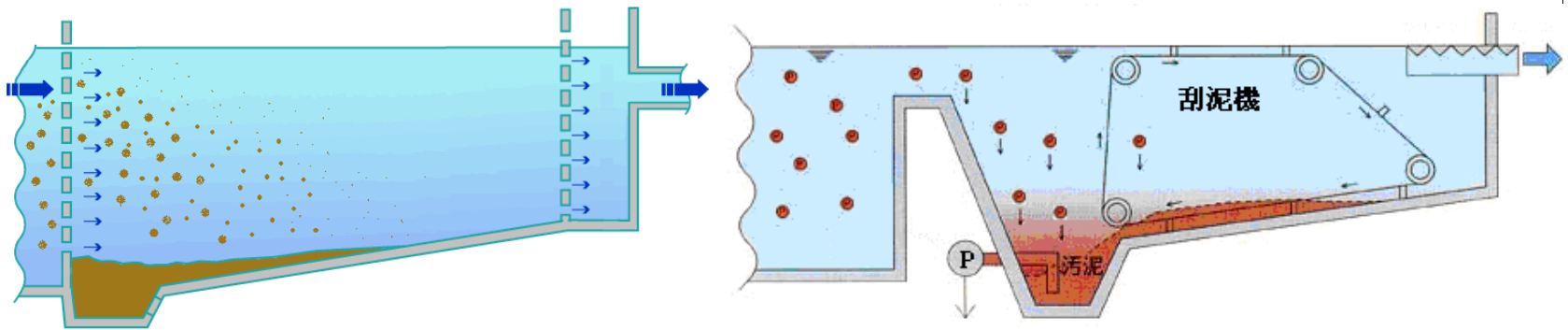
- **普通沉澱** (plain sedimentation)
 - 不添加任何**混凝劑**的沉澱過程
 - 又稱為：**單純沉澱**、**自然沉澱**
- **混凝沉澱** (coagulation sedimentation)
 - **添加混凝劑**的沉澱過程
 - 又稱為：**藥品沉澱**、**凝聚沉澱**

淨水工程中使用之沉澱池

- 普通沉澱池：適用於「慢濾系統」
- 混凝沉澱池：適用在「快濾系統」



沉澱池之目的

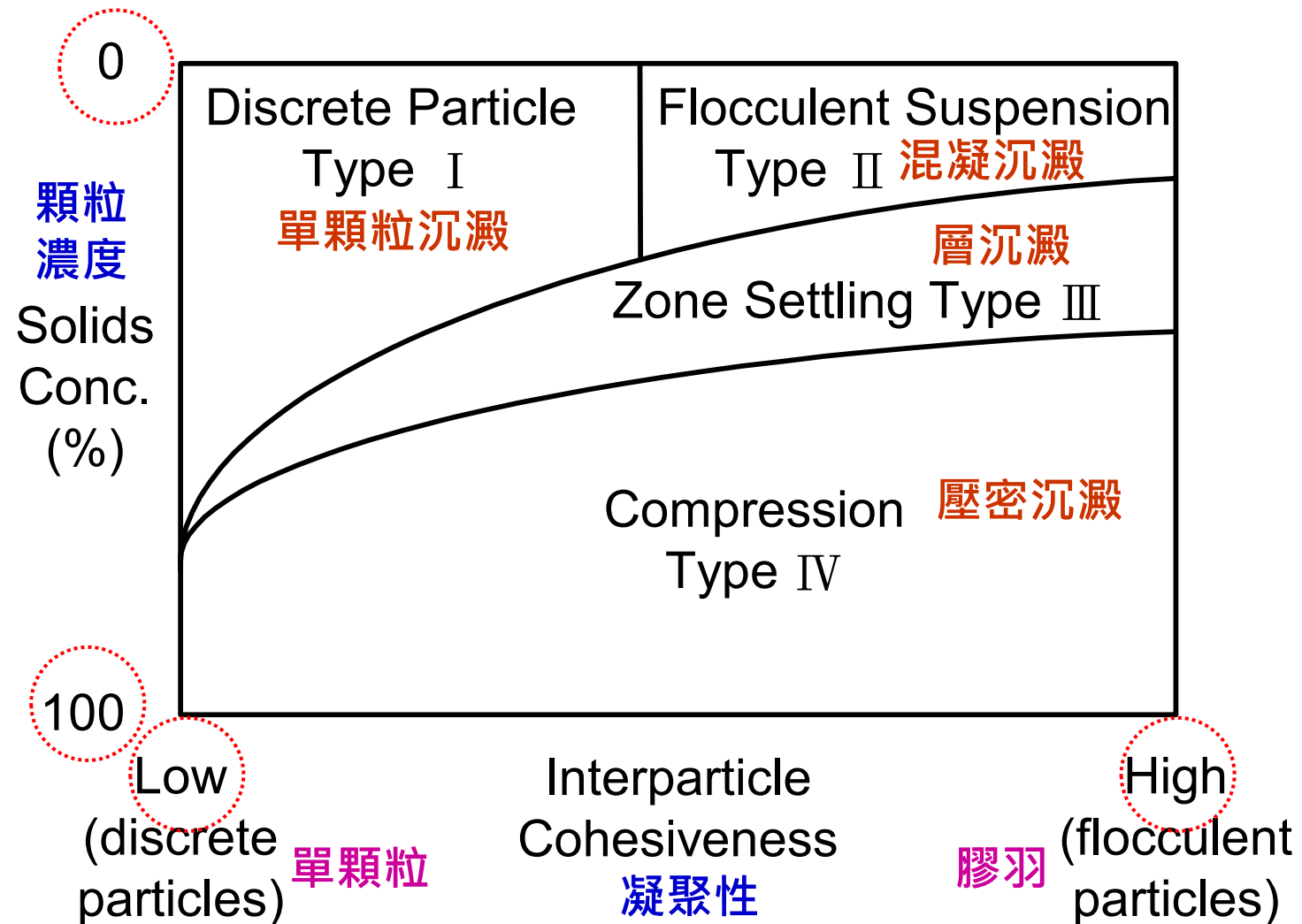


沉澱池之目的為藉**沉降**以去除**懸浮固體**。當水流進入大斷面之沉澱池中，水流速度降低，池水處於近乎**靜止狀態**，在**重力作用**之下，質量密度較高之**懸浮顆粒**會向下沉降，在池底形成濃厚之**污泥** (sludge) 而與水分離，水乃趨於**澄清**。

沉澱之型式

Type	沉澱形式	顆粒濃度	沉澱現象	應用
Type I	單顆粒沉澱 (Discrete particle)	低濃度	保持單顆粒沉澱性，沉澱過程中顆粒大小、形狀、密度均不變。	沉砂池 普通沉澱池
Type II	混凝沉澱 (Flocculent)	低濃度	顆粒具凝聚性，沉澱過程中顆粒變大，形狀改變，沉澱速度加快。	混凝沉澱池 最初(一級)沉澱池
Type III	層沉澱 (Hindered, or zone)	中濃度	顆粒具凝聚性，形成層狀沉澱，沉澱過程中上層清澄液與沉澱固體物有明顯界面。	最終(二級)沉澱池
Type IV	壓密沉澱 (Compression)	高濃度	由於顆粒之重量向下壓縮，使沉澱固體物之體積因而減少。	污泥濃縮槽

Four types of sedimentation



Type I 之沉澱

- 沉澱形式：

- 單顆粒沉澱

- 顆粒濃度：

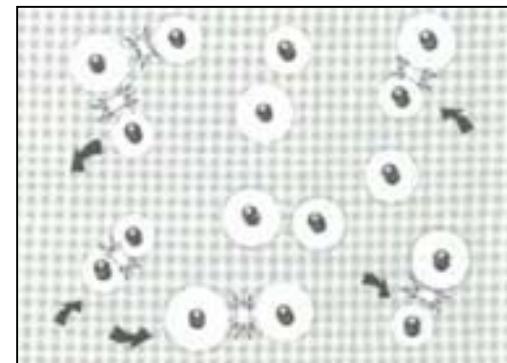
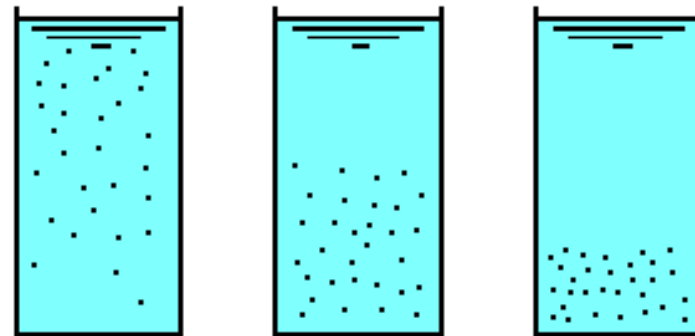
- 低濃度

- 沉澱現象：

- 保持單顆粒沉降性(不具凝聚性)，沉降過程中顆粒大小、形狀、密度均不變

- 應用：

- 沉砂池、普通沉澱池



Type II 之沉澱

- 沉澱形式：

- 混凝沉澱

- 顆粒濃度：

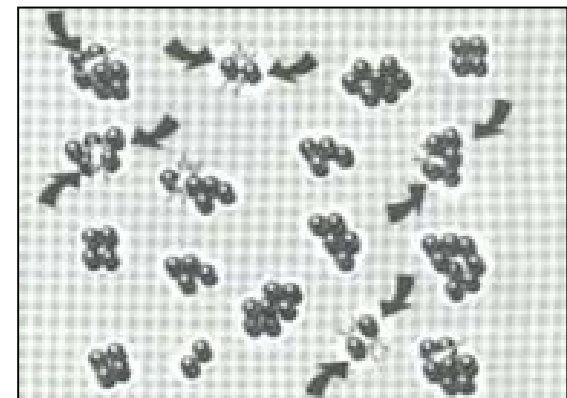
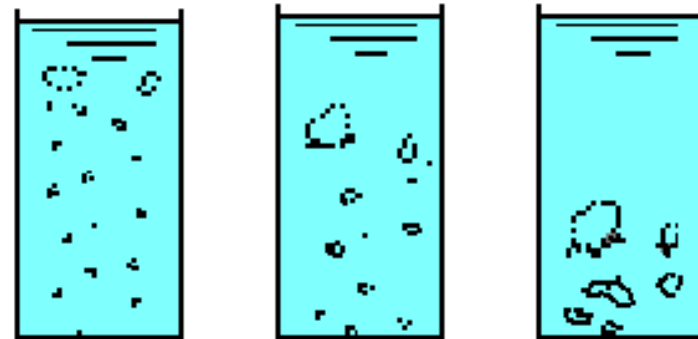
- 低濃度

- 沉澱現象：

- 顆粒具凝聚性，沉降過程中顆粒變大，形狀改變，沉澱速度加快

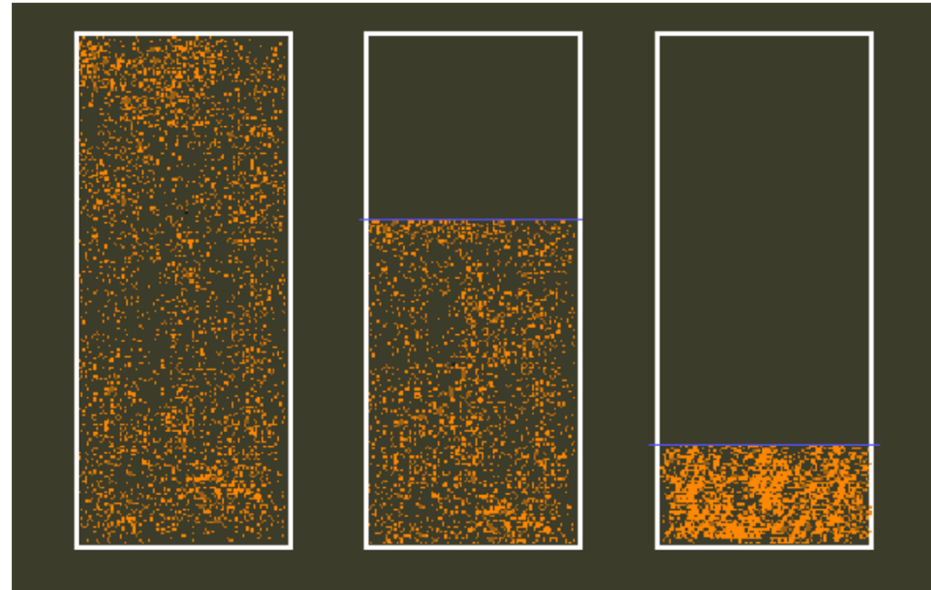
- 應用：

- 混凝沉澱池、最初(一級)沉澱池



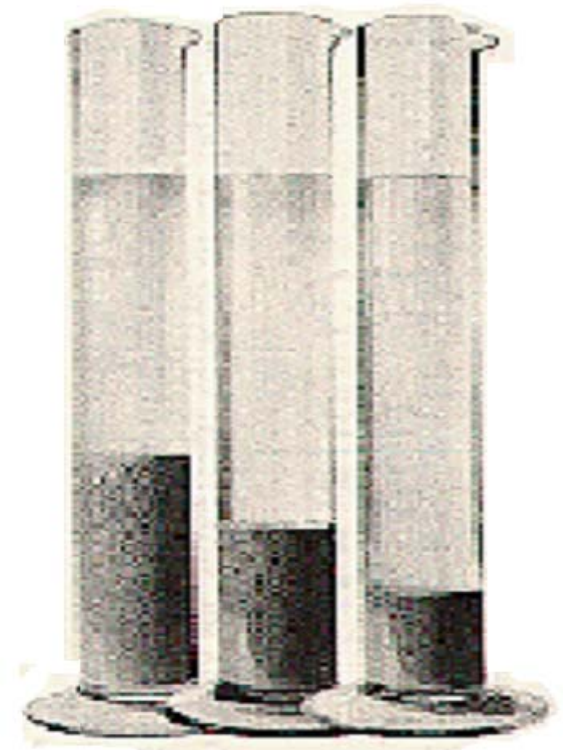
Type III之沉澱

- 沉澱形式：
 - 層沉澱
- 顆粒濃度：
 - 中濃度
- 沉澱現象：
 - 顆粒具凝聚性，形成層狀沉降，沉降過程中上層清澄液與沉澱固體物有明顯界面
- 應用：
 - 最終(二級)沉澱池



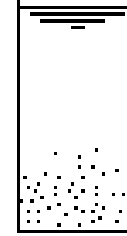
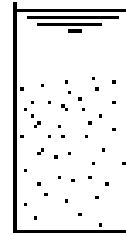
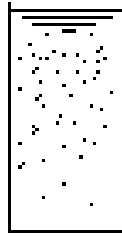
Type IV之沉澱

- 沉澱形式：
 - 壓密沉澱
- 顆粒濃度：
 - 高濃度
- 沉澱現象：
 - 由於顆粒之重量向下壓縮，使沉澱固體物之體積因而減少
- 應用：
 - 污泥濃縮槽

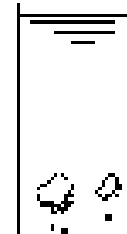
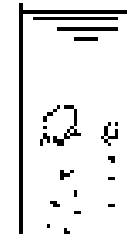
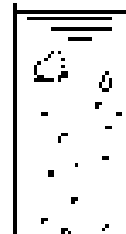


Four types of sedimentation

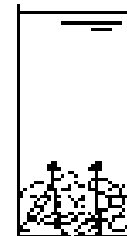
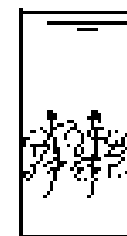
單顆粒沈澱



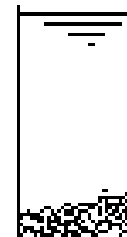
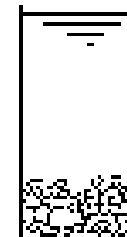
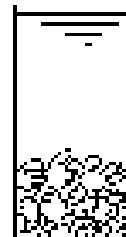
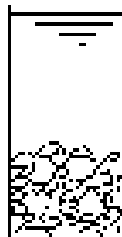
混凝沈澱



層沈澱



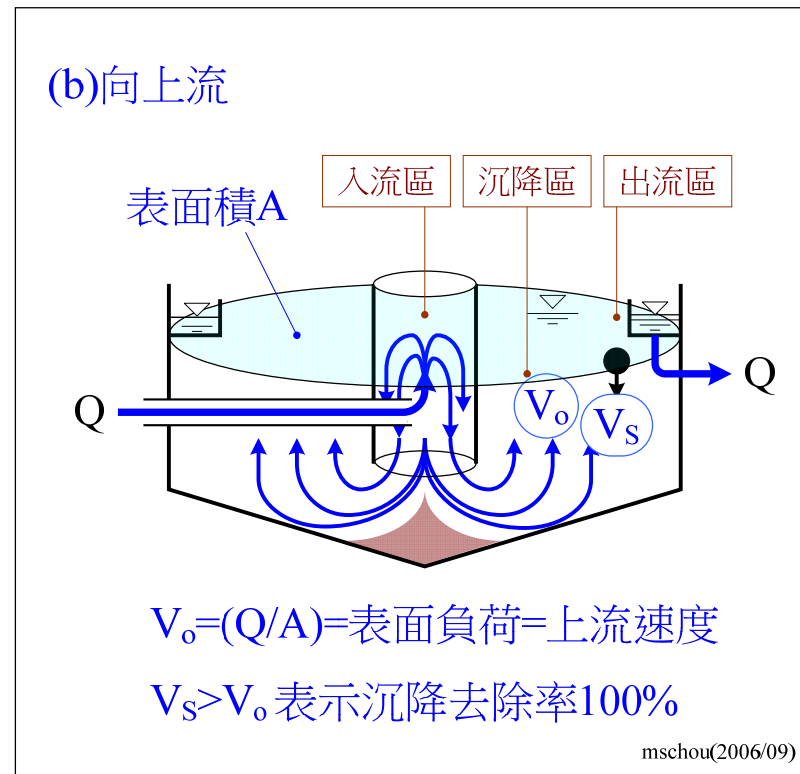
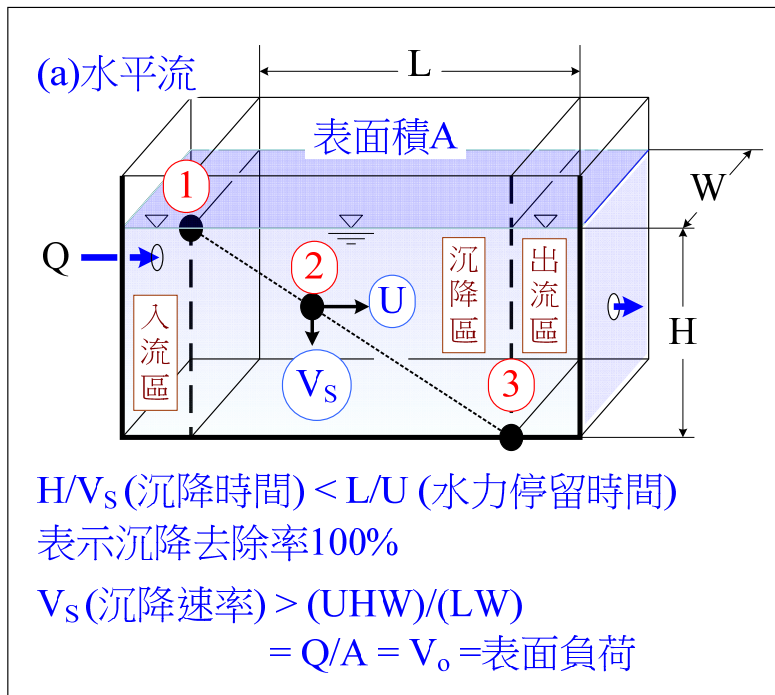
壓密沈澱



沉澱池型式

- 傳統水平流式沉澱池 (Conventional horizontal-flow tank)
- 傾斜管式沉澱池 (tube settler)
- 傾斜板式沉澱池 (Inclined plate settler)
- 膠凝澄清池 (Flocculation clarifier)
- 回流顆粒接觸澄清池 (Recirculated solids contact clarifiers)
- 脈動式污泥氈澄清池 (Pulsation sludge blanket contact clarifiers)
- 螺旋污泥氈澄清池 (helical-flow sludge blanket clarifiers)
- 平底式污泥氈澄清池 (flat bottom type-sludge blanket clarifier)

理想沉澱池之粒子去除



粒子沉降所需時間：

$t_s = H/V_s =$ 沉澱區水深/粒子之沉降速度

水力停留時間：

$t_{HR} = (LWH)/Q =$ (沉澱區之長L×寬W×水深H)/進水流量

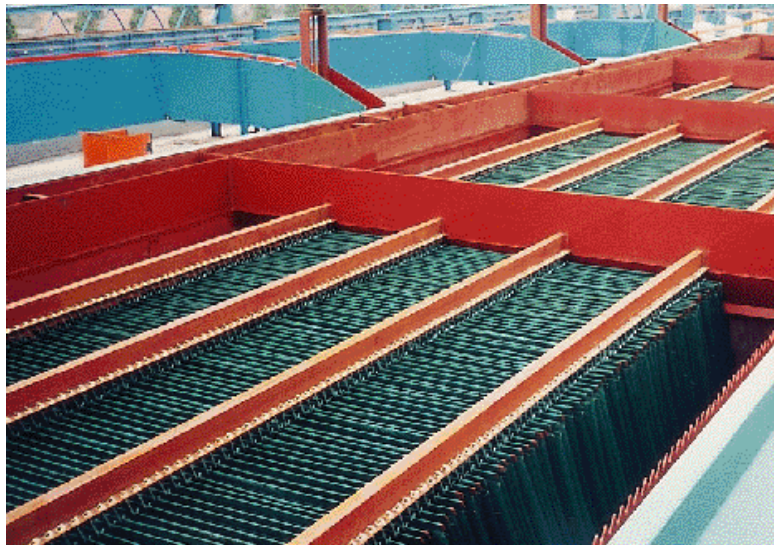
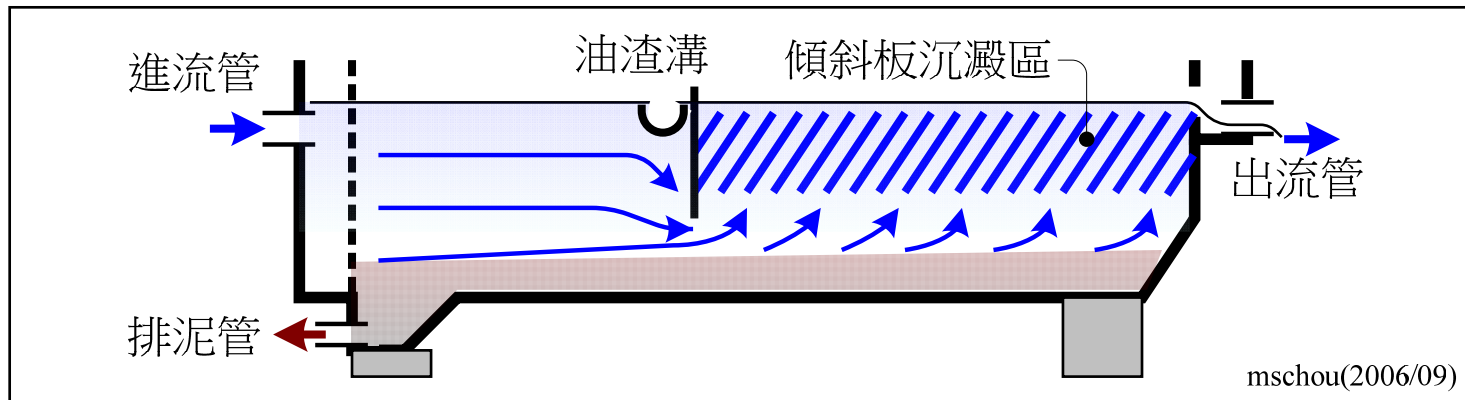
$t_s < t_{HR}$ 之狀況下，粒子可100 % 沉除

$t_s > t_{HR}$ 或 $V_s < Q/A$ ，去除率 $= V_s / (Q/A) =$ 粒子沉降速度/表面溢流速率

沉澱池之設計基本原則

設計參數	沉澱池型式	
	普通沉澱池	混凝沉澱池
水面負荷 ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{day}$)	10 以下	20 ~ 40
沉澱時間 (hr)	8 以上	3 ~ 5
平均流速 (cm/min)	30 以下	30 以下
溢流堰負荷 ($\text{m}^3/\text{m} \cdot \text{day}$)	500 以下	500 以下
有效水深 (m)	3 ~ 4	3 ~ 4
長寬比 (-)	3 ~ 8	3 ~ 8
池數 (池)	2 以上	2 以上

傾斜板沉澱池



<http://www.th-ee.com/proinfo/2005618194522.html>
<http://www.environet.org.tw/products/物理處理設備.html>

傾斜板沉澱理論

$$t_s < t_{HR}$$

$$H'/V_s' < (L'WH')/q$$

$$V_s' = V_s \cos \theta$$

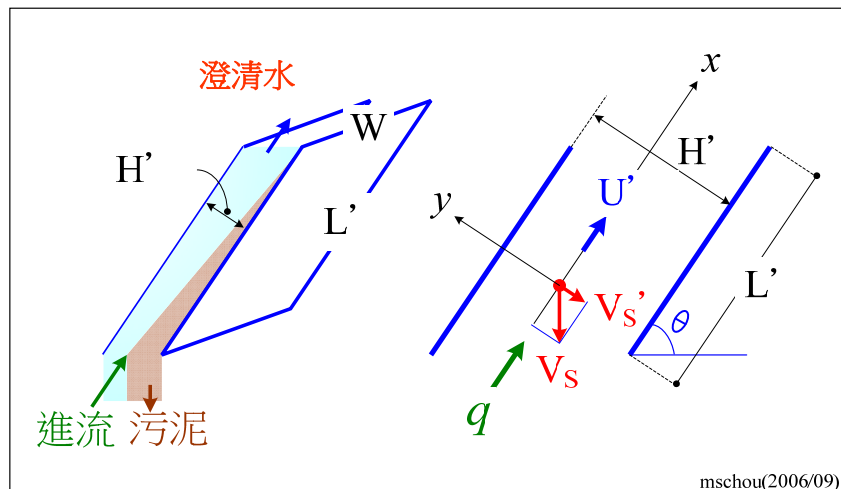
$$> H'q/(L'WH') = q/(L'W)$$

$$= q/A' \text{ (單一管進水流量/傾斜板表面積)}$$

$$q = A' \times V_s \cos \theta$$

$$Q' = A' \times n \times V_s \cos \theta$$

在粒子沉降 H' 距離所需時間(t_s)小於水力停留時間(t_{HR})之狀況下，該粒子可**100%**沉除



mschou(2006/09)

θ	=	傾斜板與水平夾角
L'	=	傾斜板長度 (m)
W	=	傾斜板寬度 (m)
H'	=	傾斜板間距 (m)
A'	=	傾斜板表面積 (m^2)
Q'	=	總處理量 (m^3/day)
n	=	管道數

例題

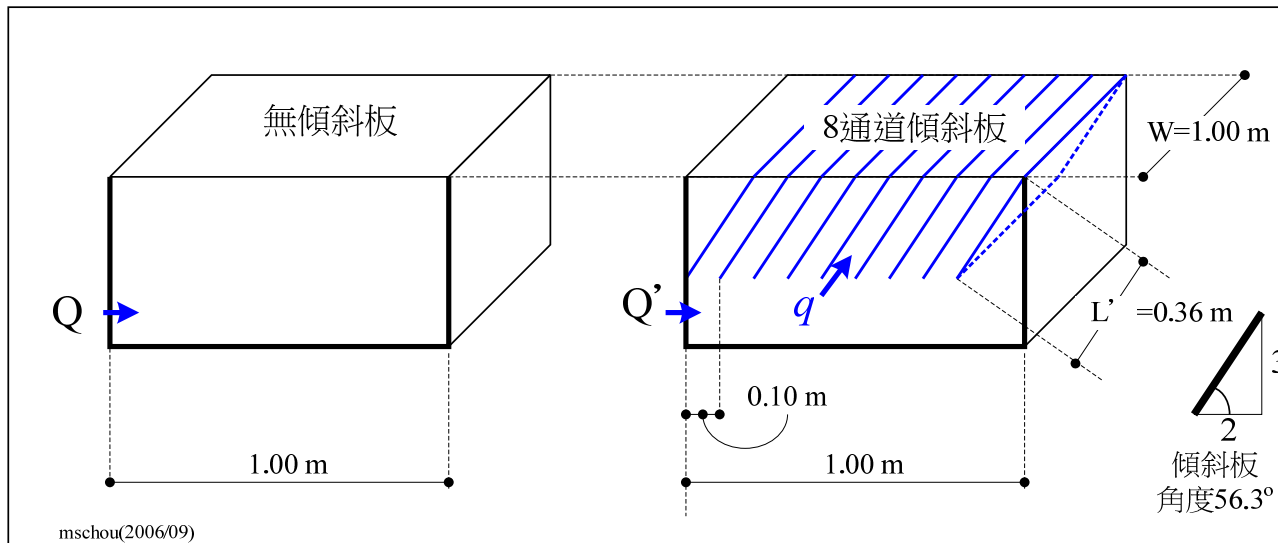
一無傾斜板沉澱池之廢水沉澱處理量為 $Q=30 \text{ m}^3/\text{day}$ ，其經加裝圖示8通道傾斜板後之沉澱處理量 Q' 估算為何？

$$V_S = (30 \text{ m}^3/\text{day}) / (1 \text{ m}^2) = 30 \text{ m/day}$$

$$V_S' = V_S \cos\theta = 30 \text{ m/day} \times \cos 56.3^\circ = 16.65 \text{ m/day}$$

$$q = A' \times V_S' = 0.36 \text{ m} \times 1.00 \text{ m} \times 16.65 \text{ m/day} = 6.0 \text{ m}^3/\text{day}$$

$$Q' = q \times 8 = 48 \text{ m}^3/\text{day}$$



傾斜管沉澱池



PACl混沉



FeCl_3 混沉

污泥氈式膠凝沉澱

停留時間 1-3 小時
濁度低於 900 NTU

重要流速

溢流渠道

36 - 100 m/day

差別沉降導致大膠羽、膠體、小布朗運動
顆粒分層

進流水

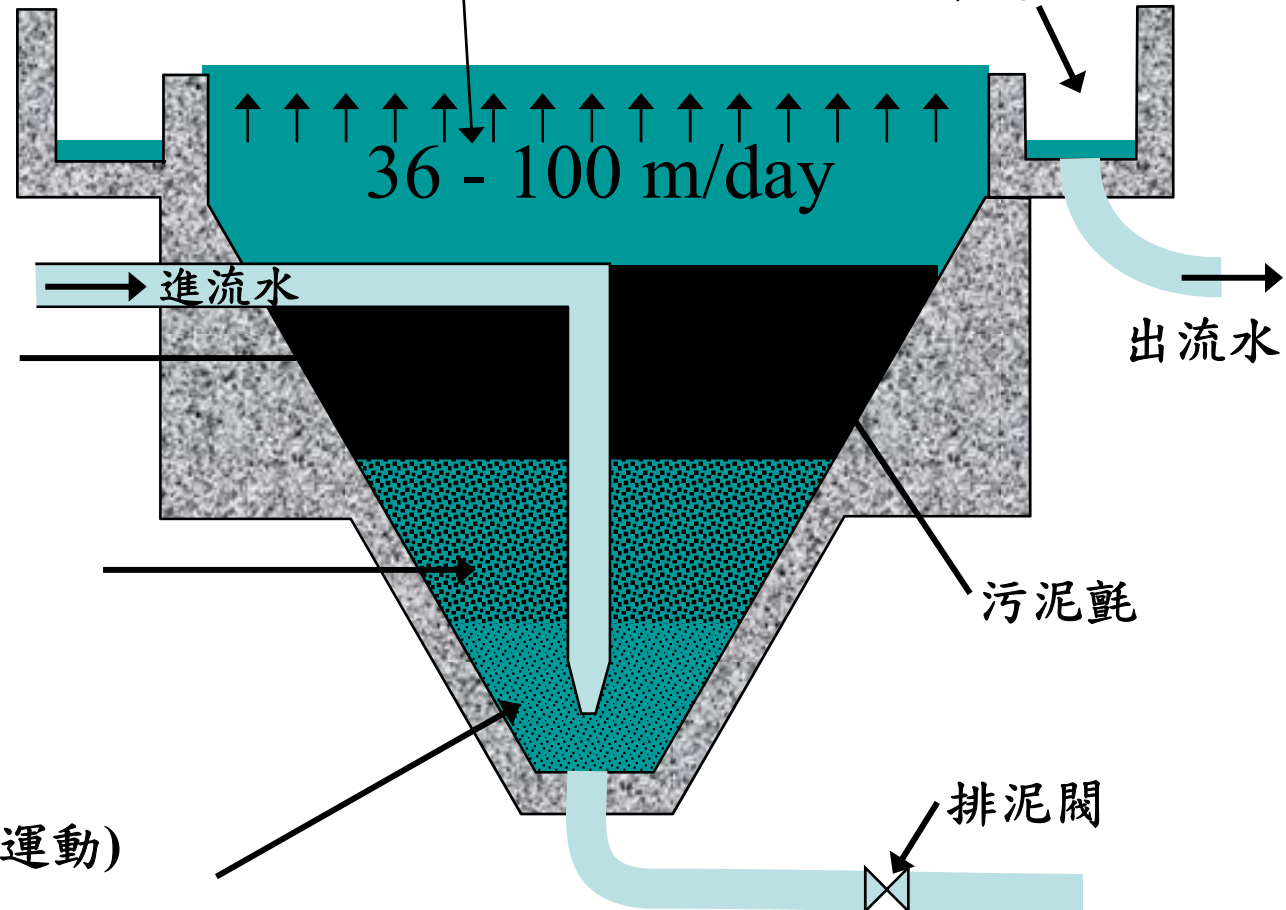
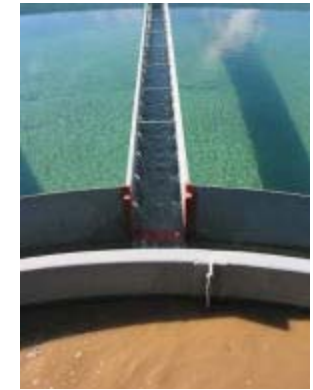
出流水

高速率保持顆粒移動

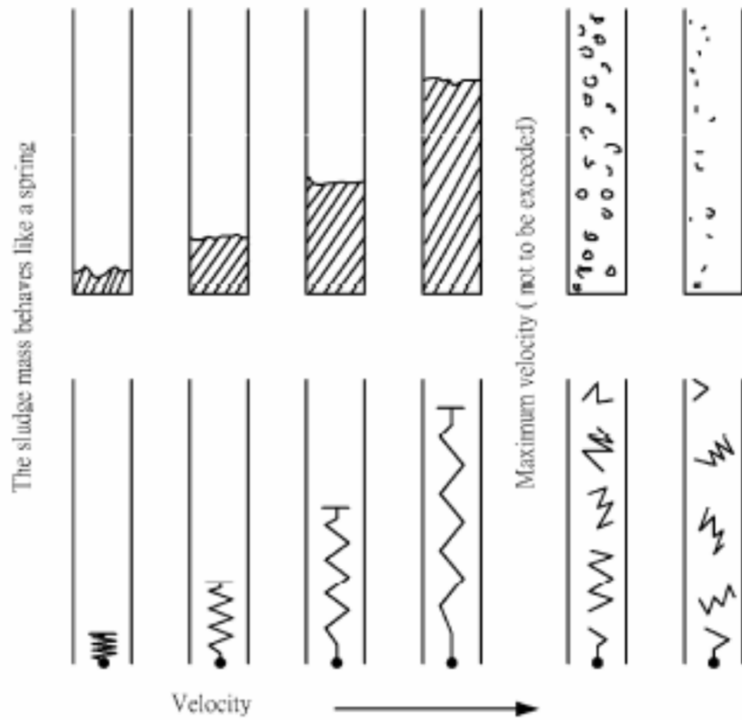
污泥氈

原水與鋁鹽 (布朗運動)

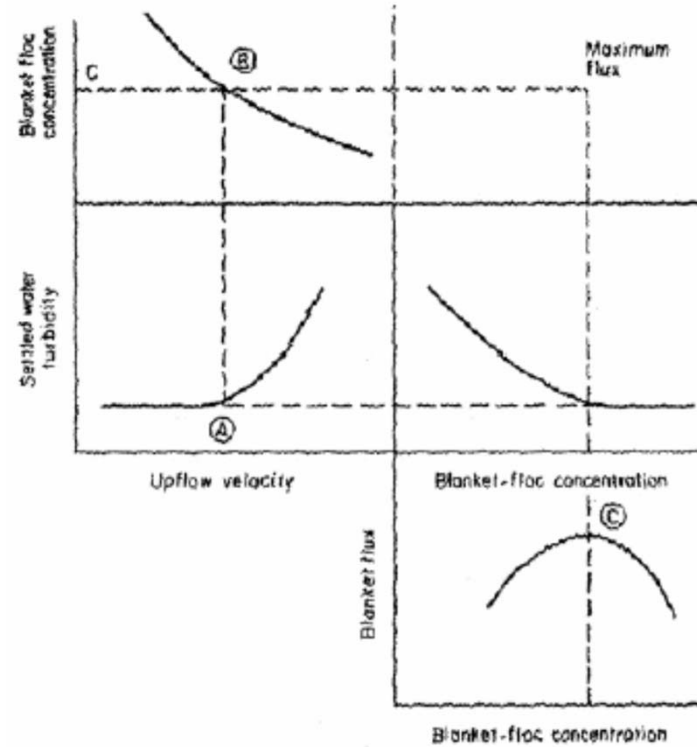
排泥閥



污泥氈沉澱池操作關鍵

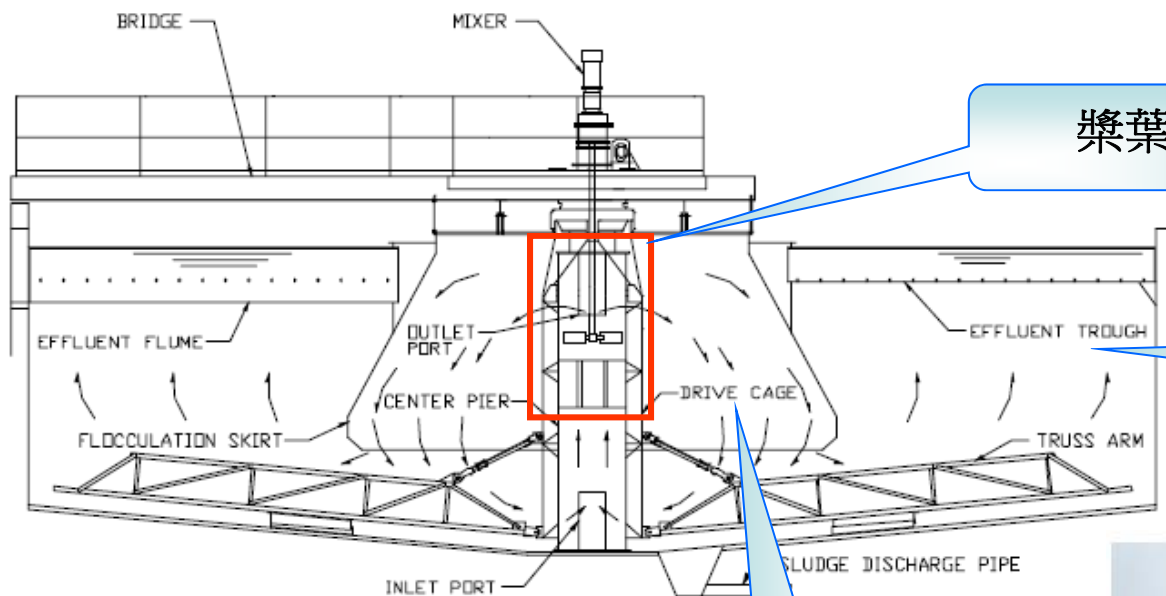


污泥氈行為



沉澱水質與污泥氈濃度、上流速度
及污泥通量關係

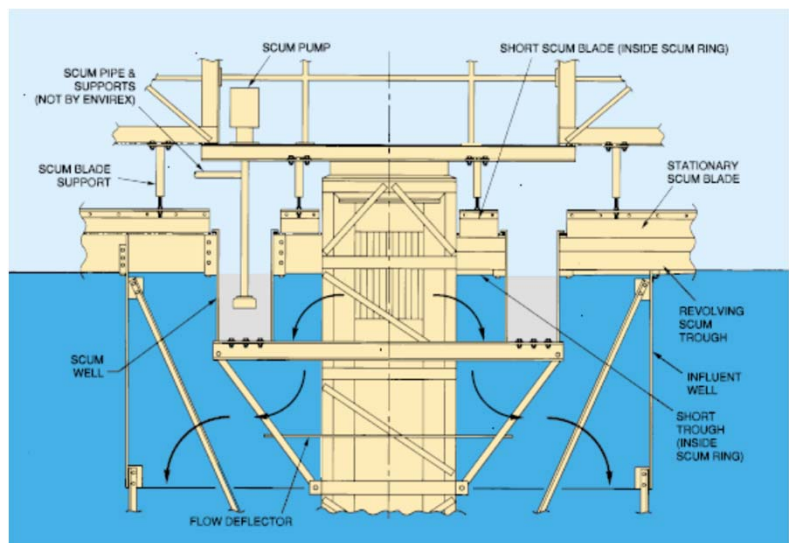
高速膠凝沉澱池



槳葉攪拌

澄清區

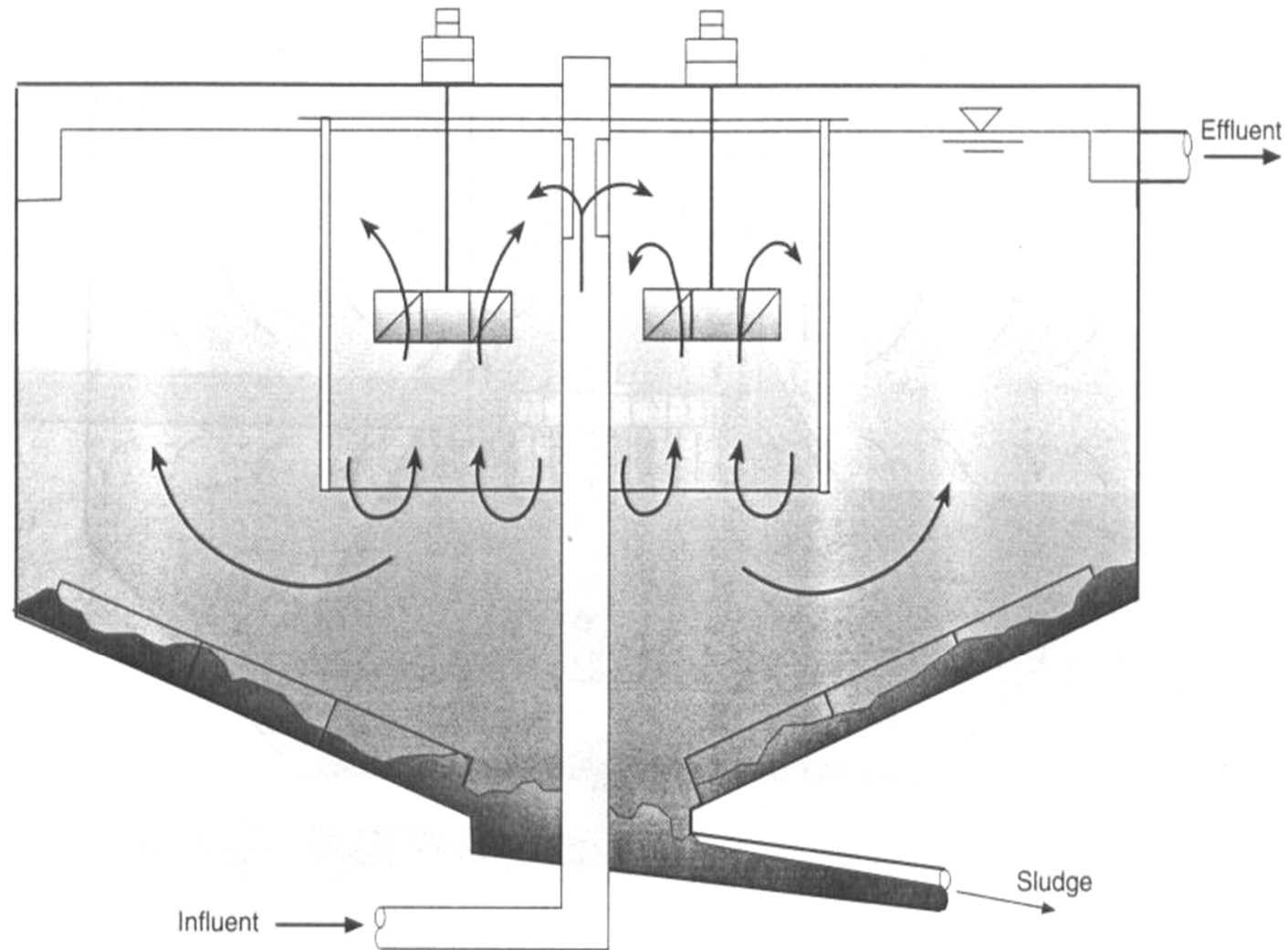
膠凝區



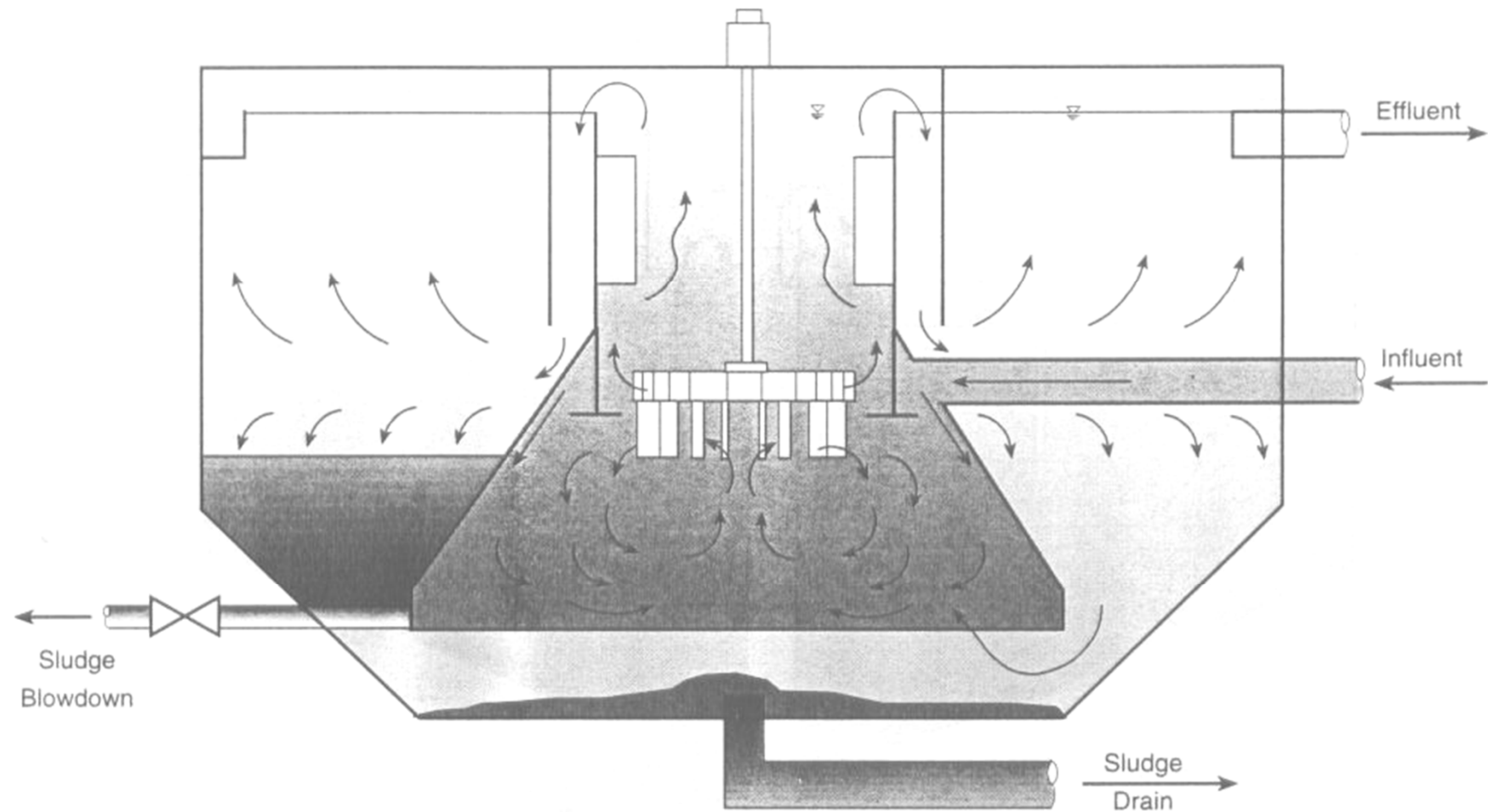
高速膠凝沉澱池

- ◆ 處理原水濁度不超過3000 NTU，最適原水濁度約10 NTU左右，瞬間最高濁度1000 NTU以下
- ◆ 處理水量變動幅度小
- ◆ 原水濁度、水溫變動幅度小
- ◆ 各池之水量應盡量維持一定
- ◆ 循環污泥以使污泥區維持一定濃度
- ◆ 應設有連續或自動操作之排泥設備

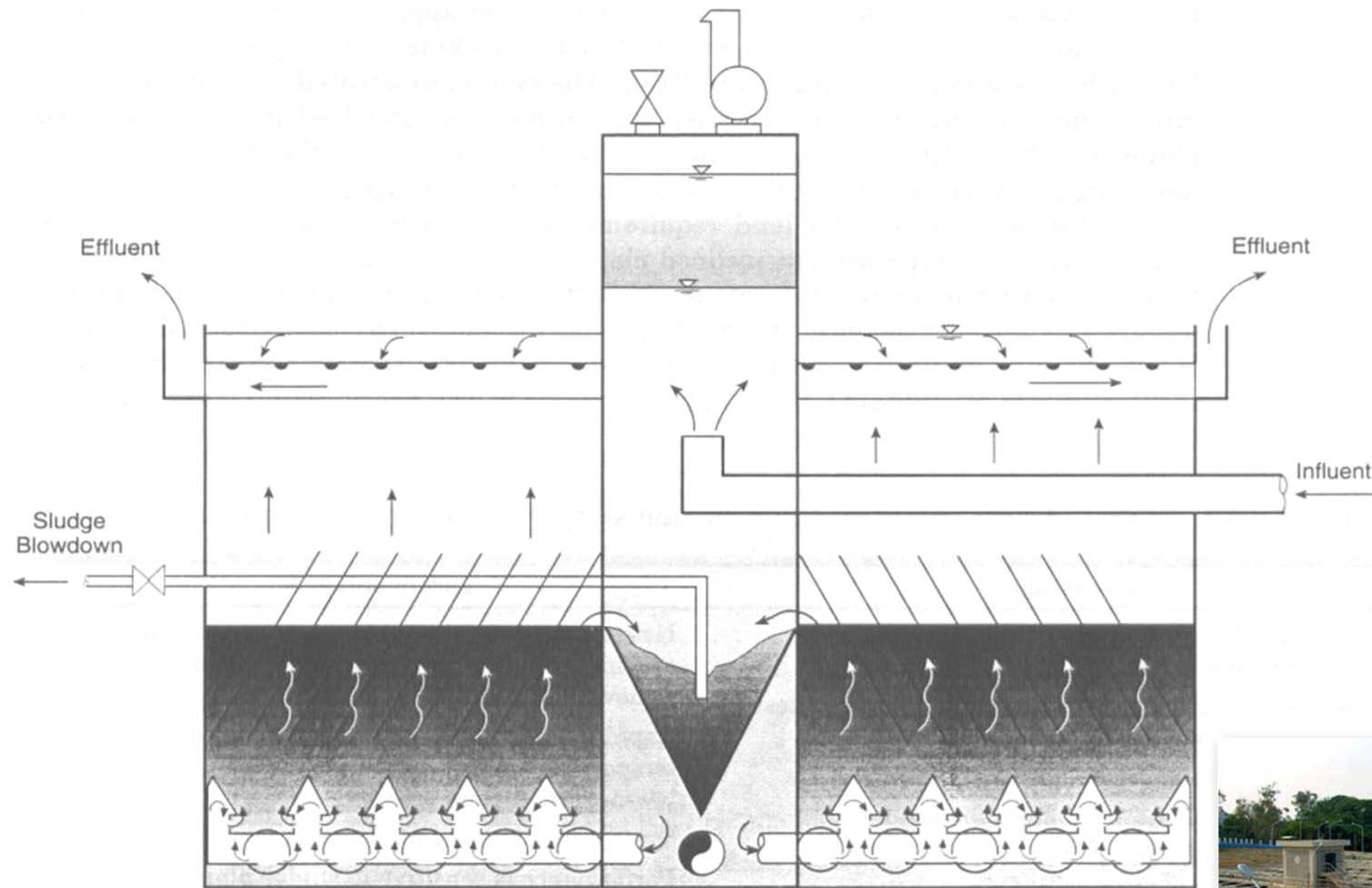
膠凝澄清池 (Flocculation clarifier)



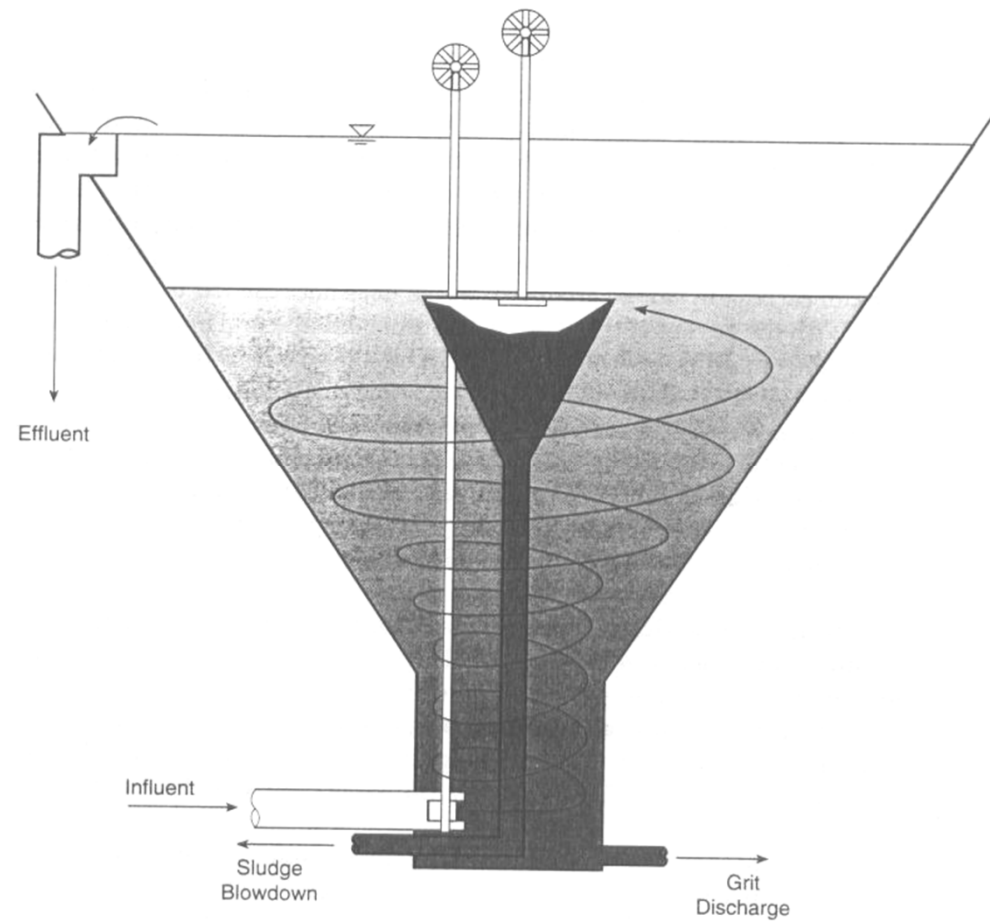
回流顆粒接觸澄清池 (Slurry recirculation type)



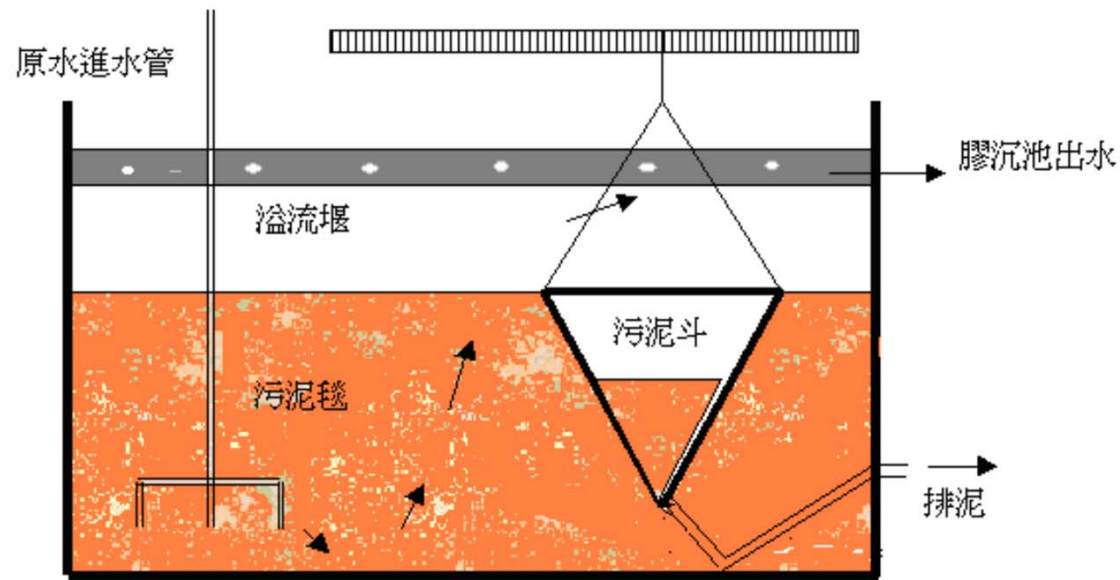
脈動式污泥氈澄清池 (Pulsator)



螺旋污泥氈澄清池



平底式污泥毯澄清池



資料來源:郭琮貴，「原水濁度變化對高速膠凝平板式污泥毯澄清池處理效能影響之探討」，中央大學環工所碩專班碩士論文，2006

沉澱池操作異常與對策

異常現象	可能原因	檢測項目	處理對策
短流	溢流堰出水不均勻 阻流板損壞	堰設置位置 阻流板	調整堰設置位置 修理或更換
水流湧動	進流泵操作不良	泵操作運轉情形	整泵操作運轉情形
進水渠固 體物沉澱	流速過低	進水渠流速	加流速或以空氣或 水攪拌以防止沉澱

沉澱池操作異常與對策

異常現象	可能原因	檢測項目	處理對策
污泥結硬 排泥困難	- 過量之砂黏土或其他易積厚之物質流入 - 排泥管中流速低 - 管線或泵阻塞	- 除砂系統之操作 - 排泥速度 - 清理管線	- 改進除砂系統操作 - 增加排泥管流速 - 反沖洗阻塞管線並增加排泥效率
污泥中 固體含量 低於要求	- 水力超負荷 - 發生短流現象 - 抽泥過量	- 進流量 - 染料、其他水流追蹤劑 - 排泥泵操作頻率 時間、懸浮固體 物濃度	- 如使用複數池，使分水更平均配置堰或檔板 - 降低排泥頻率及時間