

污泥减量-冷凝式干燥機設置

陳永明*、王世民**、周文朕***

摘要

本廠廢水系統自 1995 年運轉至今，每日處理約 4000 CMD 之廢水，除一般酸鹼廢水為酸鹼中和處理外，其餘皆為化學混凝處理，故每日皆產生大量之無機化學性污泥，約 3~5 噸/天，每月約花費 25~35 萬污泥清運費，本廠所產生污泥含水率約 50~60%，加上每日 4 次更換儲存袋及每週 2 次的清運工作，共需 38 hr/month 之工作時數，若能將污泥中水分去除再委外清運，如此將可節省一筆可觀污泥清運與人力工時費用。有鑑於此，我們乃著手評估污泥乾燥減重以達到污泥減重之可行性。

首先，在我們評估市面上各污泥乾燥系統後，選定冷凝式干燥機設置的方式來做為污泥乾燥減量。冷凝式污泥乾燥系統是以乾熱空氣導入污泥餅乾干燥箱，污泥餅乾干燥箱之濕空氣經冷凝式干燥主機降溫至露點溫度，空氣中之水分會凝結成水而與空氣分離，乾燥冷空氣經壓縮機運轉時所產生的廢熱加溫至約 60~70℃ 之乾燥熱空氣，乾燥熱空氣再送回污泥餅乾干燥箱，經進氣空氣分配裝置均勻地與污泥餅接觸，污泥餅的水分會均勻地蒸發至空氣中，此濕空氣再送至乾燥主機中冷凝去除水分。

經由冷凝式干燥機的污泥乾燥後，我們發現可有效的將污泥的含水率約從原先的 50%降至 15%，污泥總減重約 20%，可節省污泥委外清運處理費用 2.19 M/Yr，設備的運轉成本約 0.54 M/Yr，冷凝式干燥機設置成本約 4.8 M/Yr，故投資回報年限約 2.9Yr。

另外，我們亦將污泥乾燥機冷凝去除之排出水約 0.8 噸/天，接至 BG UF 系統回收，每年可再有效回收約 200 噸/Yr。

【關鍵詞】酸鹼廢水、化學混凝處理、冷凝式干燥機

*台灣積體電路股份有限公司 三廠 工程師

**台灣積體電路股份有限公司 三廠 課長

***台灣積體電路股份有限公司 三廠 副理

一、前言

半導體之廢水處理大都採用化學混凝沉降方式，最終將產生大量之污泥，即使經過脫水處理後，其污泥之含水率仍高達 60%以上，目前廠內之污泥皆由水泥製造業處理，但由於近年來環保意識的抬頭，水泥製造業逐漸減產或遷移海外，造成污泥無法全部回收及處理成本增加，因此污泥減量工作，實為刻不容緩。

另外分析我們廠區廢水處理廠之運轉成本(如下圖 1 所示)，扣除污水納管廢費用與化學品的消耗費用外，發現污泥之處理成本佔每月廢水廠運轉成本近 8%，是以污泥減量是我們必然的目標。

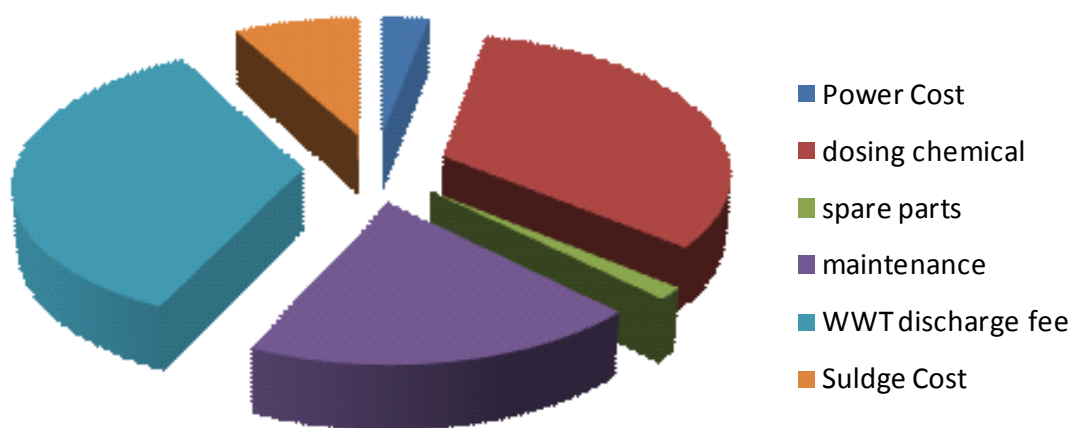
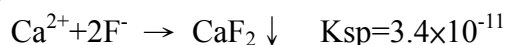


圖 1 廢水處理廠之運轉成本比例圖

二、污泥來源與特性分析

2.1 污泥產生流程說明

圖 2 為本廠之污泥產生流程，主要是含氟廢水及 BG(Backside Grinding, 晶背研磨)廢水等兩股廢水均由混凝沉降反應所產生之最終產物，在氟系廢水之處理，本廠是以添加 CaCl_2 化學品來進行混凝沉降。 CaCl_2 化學品與廢水中之氟離子反應，形成氟化鈣之不溶解微粒沉澱後去除，去除化學反應式如下：



由於氟離子的粒徑為 $1.36 \times 10^{-10} \text{m}$ ，經反應形成氟化鈣非常細小，在水中沉澱速度很慢，為了減少沉澱時間，避免處理設備容量過於龐大，也為了提升處理效果，故於化學沉澱過程中同時加入混凝劑，以凝聚氟化鈣晶體成為較大膠羽而加速沉澱，所形成的膠羽也能吸附其他污染物。所沉降後之污泥屆由污泥脫水機(Filter press)將多於水份排除後，形成污泥餅後由廢棄物廠商清運處理。而一般利用污泥脫水機所形成之濾餅其含水率約 50~60%。

而另一股 BG 廢水則是利用 BG UF 及傳統混凝沉降處理系統等兩套系統串聯加以處理。而本廠之 BG 機台較其他八吋廠來得多，BG 廢水量相對來的多，因此 BG 污泥約佔污泥總重之 2/3 左右之比例。

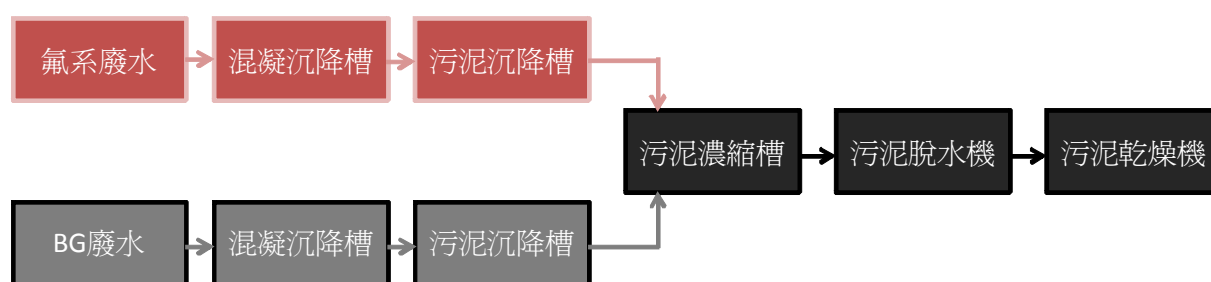


圖 2 本廠污泥產生流程

2.2 污泥之特性說明

要針對污泥進行減量，首先需對污泥之特性作一研究，方可找出正確之處置方式。一般來講污泥通常呈現偏親水性，故含有大量水份，未脫水之污泥含水率高達 95%以上，而污泥中之水份型態可分為兩種：

- 1.自由水(污泥外部水)：不以任何形式和水中的固體顆粒相結合，可藉由重力分離。
- 2.結合水(污泥內部水)：若以水和顆粒間的作用力來區分，可區分為：
a.毛細管間隙水：固體顆粒間因毛細現象所保有的水份，須靠機械力始可分離。
b.表面水：為吸附或黏著在固體顆粒表面的水份，不易藉機械分離。

而污泥中水份分佈，依水份和污泥膠羽間的連結程度，而有不同的物理性質，會直接影響污泥脫水性的難易。一般而言，自由水及毛細管間隙水可以一般機械脫水設備移除，但表面水則無法透過機械力移除，需使用乾燥之方式去除。而一般以添加 Polymer 之化學調理方法則主要是移除自由水及間隙水。

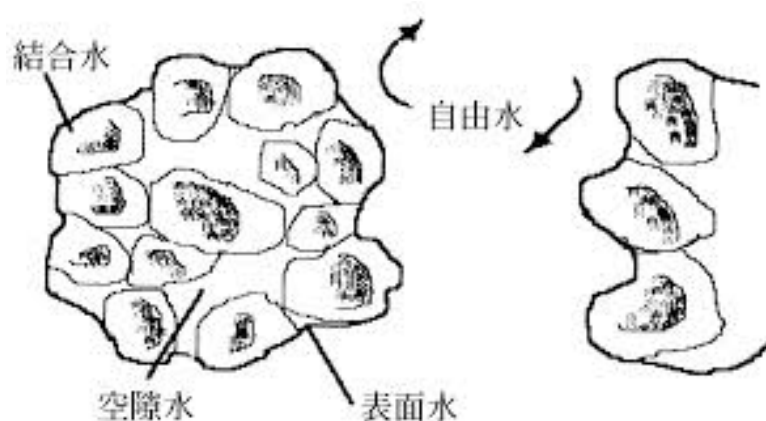


圖 3 污泥之含水成分示意圖

表 2 污泥中水份的型態說明

分類		說明	處置方法
自由水 (污泥外部水)		不以任何形式和水中的固體顆粒相結合	重力濃縮、化學調理
結合水 (污泥內部水)	毛細管間隙水	固體顆粒間因毛細現象所保有的水份，須靠機械力始可分離	脫水機、化學調理
	表面水	為吸附或黏著在固體顆粒表面的水份，無法透過機械力移除	乾燥

三、污泥減量技術評估與執行

在鑒於污泥清運費持續上升，國內掩埋可用場地逐步減少，必須持續推動污泥減量，而廢水廠所產生之污泥經脫水機脫水處理後，其含水率仍高達 60% 以上，主要原因是污泥內之結合水無法透過脫水之機械方式去除，需使用乾燥之方式方可去除，因此污泥乾燥工程之評估勢在必行。

3.1 污泥乾燥技術之評估

目前已發展成熟之污泥乾燥設備相當多，例如熱風加熱、輻射乾燥（微波及紅外線等）、低溫冷凍乾燥以及除濕乾燥等，其分類如圖 4 所示：



圖 4 常見之污泥干燥方法

1. 熱風式干燥技術：

一般而言，熱風式干燥技術為最常見之污泥干燥方法，傳統熱風式干燥技術是將污泥中水加熱產生水蒸汽而排出。而水蒸發所需要吸收之熱焓 (ΔH) 為：

$$\Delta H = H(\text{vap}@120^{\circ}\text{C}) - H(\text{liq}@25^{\circ}\text{C}) = 646.4 \text{ kcal/kg} - 25.5 \text{ kcal/kg} = 621 \text{ kcal/kg}$$

另外，若加上各項損失考量，包括熱風產生熱損、系統輻射熱損、排氣熱損、干燥污泥帶出熱損等，其中尤以排氣熱損佔絕大部份；儘管此部份熱能藉由熱回收設備，如熱交換器、廢熱鍋爐等加以回收，但也因此大幅增加干燥系統之複雜度與設備投資成本。

2. 輻射干燥技術－紅外線：

紅外線干燥技術係利用電磁輻射之熱傳原理，以直接傳導方式使水份蒸發，而避免加熱於空氣、蒸汽及熱煤油等熱媒介所損耗能量，可有效節約能源；且紅外線具有產生容易、可控性良好等特點，以及加熱迅速、干燥時間短及佔地面積不大等優點，惟國內目前並無實際應用於污泥干燥之案例。

3. 輻射干燥技術－微波式：

微波式干燥技術是利用高頻交流電場之效應，使介質內部水分子因震

動磨擦而產生熱量，以達到乾燥作用，由於微波式乾燥技術以直接方式傳熱，因此同樣加熱時間短、加熱均勻、熱效率高、控制容易及佔地面積小等優點；除此之外，尚具有快速完成、能量吸收效率高、溢散少、環境衝擊較低等優點，惟其初設成本極高，國內誠缺少微波產生器之製能力，且使用壽命僅達數千小時，對國內業界而言經濟效益不高，且國內目前並無實際應用於污泥乾燥之案例。

4. 冷凝式(除濕式)乾燥技術：

冷凍式乾燥技術係利用以冷凝壓縮機產生之廢熱加熱將乾燥空氣經加溫至約 60°C ，導入污泥貯槽，將高含水率污泥之水分帶出，濕度高之空氣導入冷凝機，將空氣中水份凝結及排出；此種形式之乾燥機因回收壓縮機之廢熱來加溫循環空氣而達到節省能源之效果，且操作溫度僅約 60°C ，並不會產生臭氣及安全上之問題，且操作維護上亦具有相當之便利性，為一甚具市場競爭力之污泥乾燥機，尤其適用於中小型規模工廠作業使用。圖 5 為冷凝式除濕乾燥機之原理。

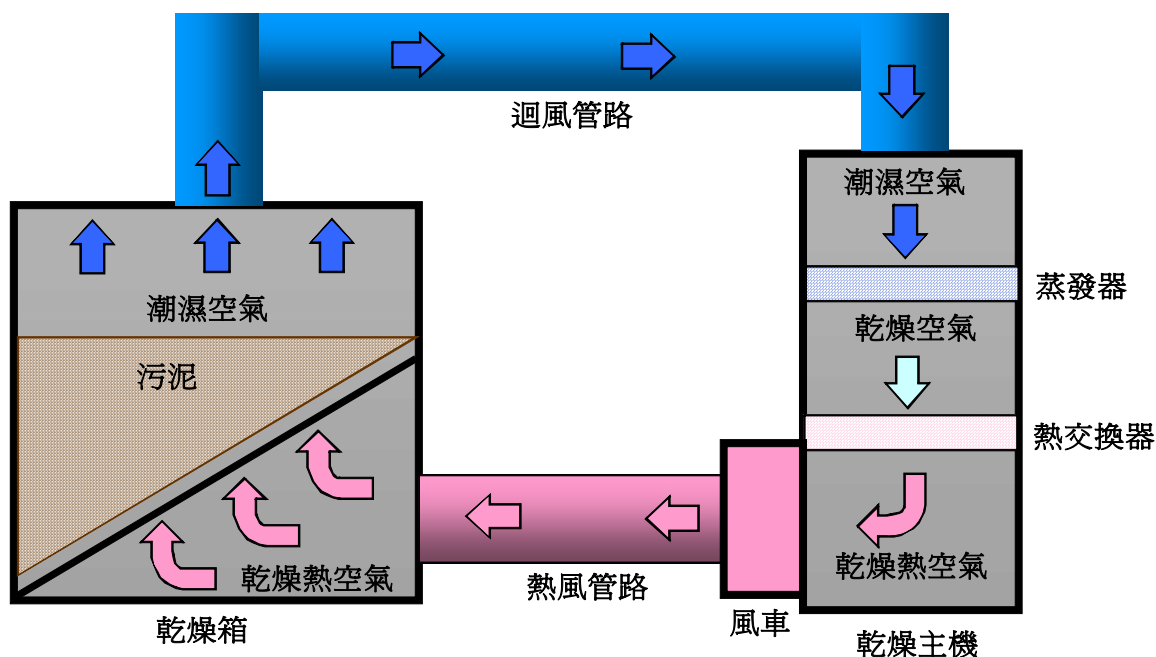


圖 5 冷凝式除濕乾燥機原理

3.2 冷凝式污泥乾燥機安裝

經由評估後，冷凝式除濕乾燥系統因無空氣污染與臭味逸散、不改變污泥性質、操作維護容易、污泥減積效果顯著以及人力耗費成本低等外、更由

於利用使用電力驅動，免除燃燒機之明火危險，對於工安要求嚴格之半導體廠更具有導入利用之優勢，且廠商在台積電完成 CaF_2 污泥之模廠測試(詳圖 6)，驗證結果確實符合達到需求(測試結果體積可減少約 10~15%，重量可減少約 20%)，基於以上之評估結果，因此本廠決定導入此技術並於去年底進行發包，期間與廠商進行多次設計討論，在經過多月來之準備，而目前乾燥設備已在今年一月份完成安裝且正式運轉。

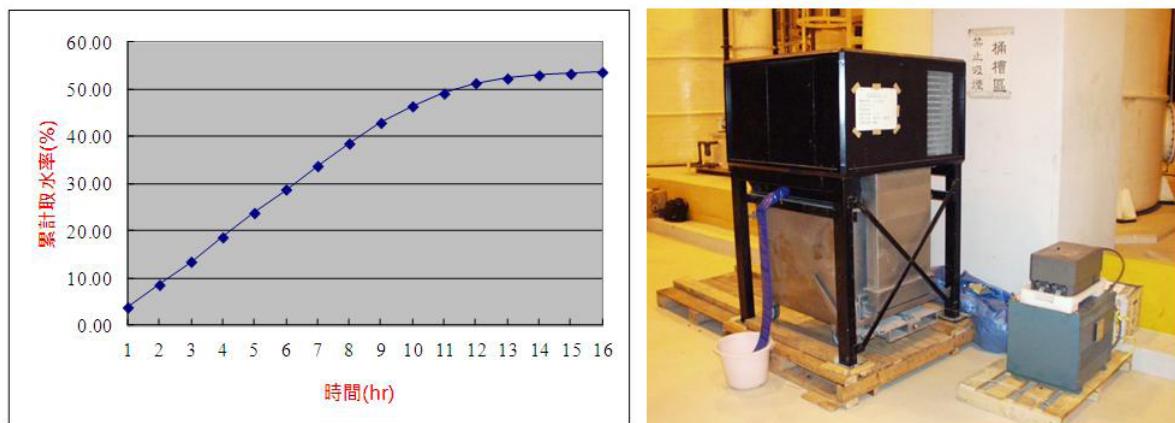


圖 6 模廠設備以及測試數據 Trend chart



圖 7 冷凝式乾燥機運送及組裝

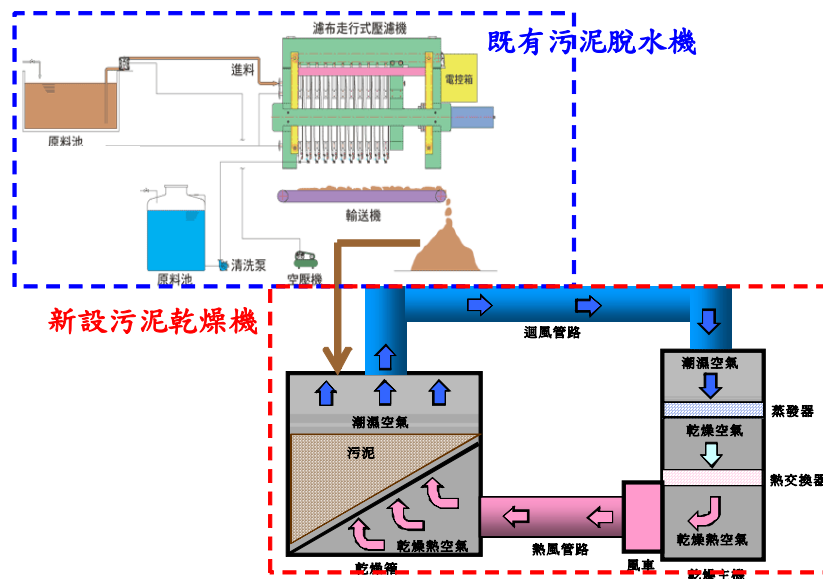


圖 8 污泥乾燥設備增設示意圖

冷凝式乾燥機其運轉流程可分為以下五個步驟，其說明如下：

- 1.脫水污泥入料：脫水機壓出之污泥餅，暫存於下方之緩衝槽再經由螺旋輸送帶將污泥送暫存槽內烘箱內，一旦料位感應器感應到一定之料位，則打開閘門，落料至乾燥箱內，乾燥機便開始啟動運轉。
- 2.氣體加熱：利用以冷凝壓縮機產生之廢熱加熱將乾燥空氣經加溫至約 60℃。
- 3.乾燥循環：強力風車將(約 55℃~65℃) 乾燥空氣經由排風管路進入乾燥箱底部之通風板，通過污泥層後濕氣再經由迴風管路進入乾燥機將水分子凝縮，因此形成密閉乾燥循環。
- 4.氣體冷凝：將帶有高濕度的氣體經由蒸發器將空氣中之水分子冷凝成水滴經由底部排出。
- 5.過剩餘熱：冷媒在第一個熱交換器中所產生的過剩餘熱，再經由第二個輔助冷凝器釋放。

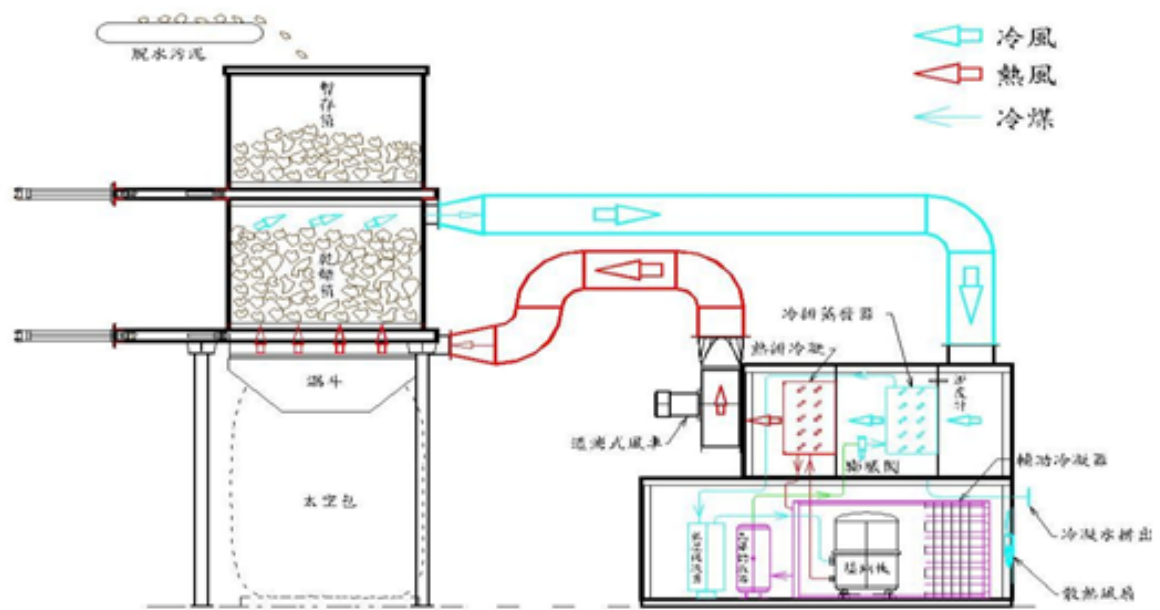


圖 9 乾燥設備之構造組成以及流程示意圖

3.3 改善成效

1. 污泥含水率由原先 50%，大幅降低至 15~20 % (污泥乾燥機上線運轉後)。
2. 每月污泥量由 2012 年的 2,449 Kg/Month 減至 2013 年的 1,805 Kg/Month 以下 (污泥乾燥機未上線運轉)，其降幅高達 26% (如圖十所示)。污泥乾燥機已於九月份完工，污泥量將可再減半，如此往後之八廠污泥清運量將減至為 50 ton/Month 以下。就生產每片 Wafer 所產出污泥量之指標來看，由 2012 年之 0.82 kg/8"EQ 降至 0.59 kg/8"EQ (數據來源：廢棄物清運申報資料)，降幅約為 28%。

另外，我們亦將污泥乾燥機冷凝去除之排出水約 0.8 噸/天，接至 BG UF 系統回收，每年可再有效回收約 200 噸/Yr.。可再收經 BG/UF 與 CMP/RO 回收處理至超純水前段再利用 (如圖 12 所示)，充份有效利用水資源，期能一滴不漏的來節約水資源。

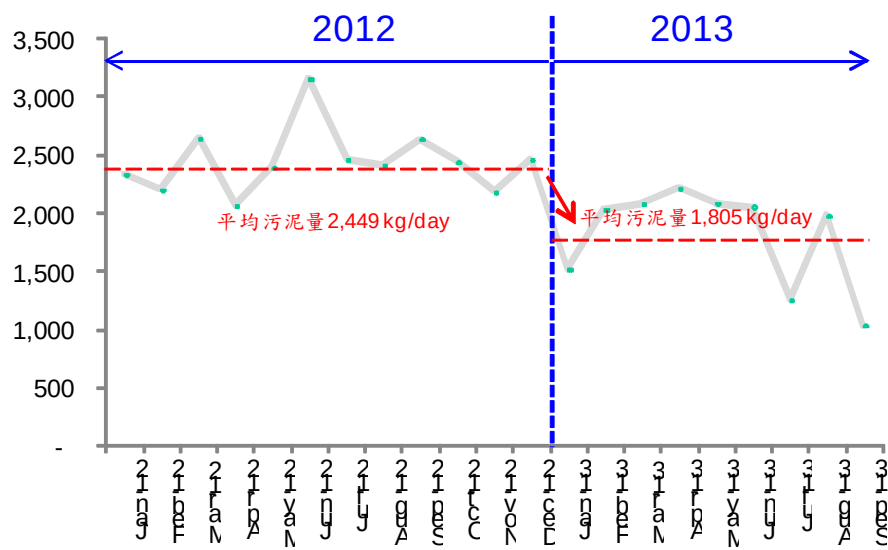


圖 10 每月污泥清運量比較圖



圖 11 乾燥前後污泥含水率與外觀比較圖

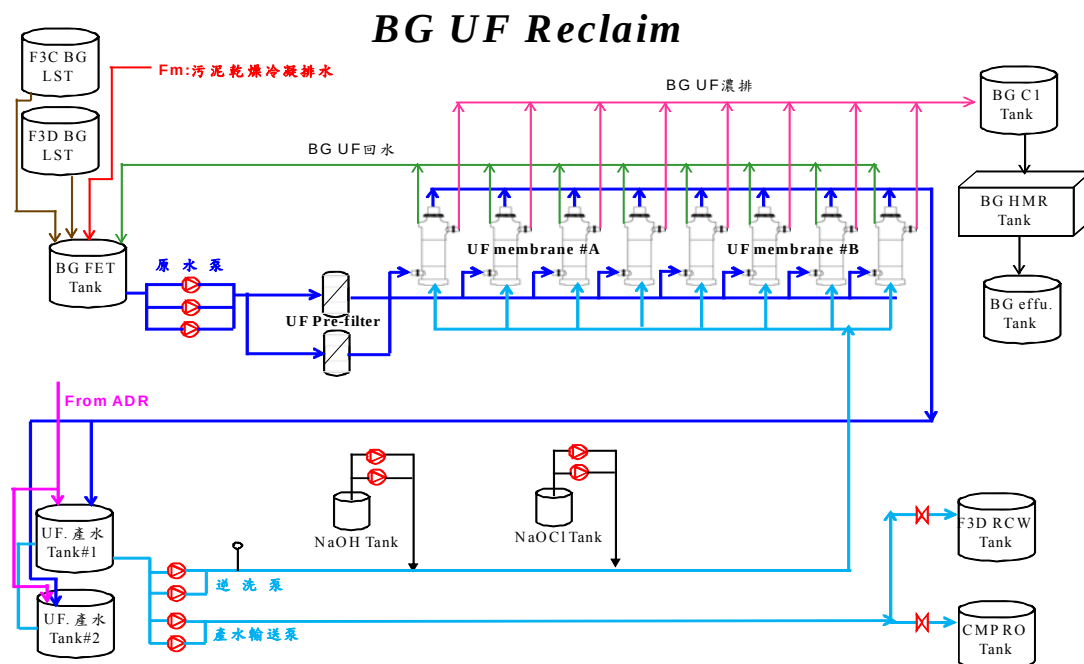


圖 12 BG/UF 系統流程圖

四、結 語

持續創新改善是本公司的努力目標，是以本文乃就本廠多年來之污泥改善經驗提供一些淺見，期盼日後其他業界進行污泥減量時能有所參考

在污泥減量確實達到減少廢棄物成本，符合清潔生產中源頭減量之精神。基於此次案例的成功，使本團隊於系統層面減廢更加有信心，並積極尋求更多節能減碳之作為，期能以此回饋於社會。

五、致 謝

此專案乃整合許多廠務先進的教導得以成功，因而產生此一論文進行分享。最後要感謝台積電廠務部張智能部經理的大力支持，並感謝周文朕副理在專業技術上的指導，以及本廠水處理課全體同仁藉由團隊合作，給予意見得以完成。

參考文獻

- 1.歐陽嶠暉。2013。水資源回收再生廠營運管理。詹氏。
- 2.駱尚廉/楊萬發。2012。自來水及下水道工程。曉園。
- 3.本廠廢棄物清運申報資料